



TUGAS AKHIR - TK 145501

PABRIK NATRIUM HIDROKSIDA DARI GARAM NaCl DENGAN PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN

DALIILAH HANIIFAH AZHAAR
NRP. 10411500000027

HAWAZIN
NRP. 10411500000095

Dosen Pembimbing
Ir. Elly Agustiani, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – TK145501

**PABRIK NATRIUM HIDROKSIDA DARI GARAM NaCl
DENGAN PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN**

DALIILAH HANIIFAH AZHAAR
NRP. 10411500000027

HAWAZIN
NRP. 10411500000095

Dosen Pembimbing :
Ir. Elly Agustiani, M.Eng.
NIP. 19580819 198503 2 003

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT – TK145501

**SODIUM HYDROXIDE PLANT FROM NaCl USING
ELECTROLYSIS MEMBRANE CELL METHOD**

DALIILAH HANIIFAH AZHAAR
NRP. 10411500000027

HAWAZIN
NRP. 10411500000095

Supervisor :
Ir. Elly Agustiani, M.Eng.
NIP. 19580819 198503 2 003

**DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of VOCATIONAL
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL :
**PABRIK NATRIUM HIDROKSIDA DARI GARAM NaCl DENGAN
PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Departemen Teknik Kimia Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Daliilah Haniifah Azhaar

(NRP 10411500000027)

Hawazin

(NRP 10411500000095)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing

Ir. Elly Agustiani, M.Eng.
NIP. 19580819 198503 2 003

Mengetahui,

**Kepala Departemen Teknik Kimia Industri
FV-ITS**



Ir. Agung Subyakto, MS
NIP. 19580312 198601 1 001

SURABAYA, 26 JULI 2018

LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai hasil ujian tugas akhir pada 2 Juli 2018 untuk tugas akhir dengan judul "**Pabrik Natrium Hidroksida dari Garam NaCl dengan Proses Elektrolisis Sel Membran**", yang disusun oleh :

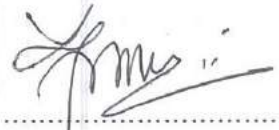
Daliilah Haniifah Azhaar
Hawazin

(NRP 10411500000027)

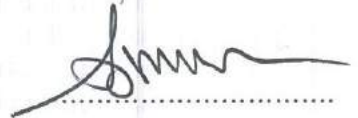
(NRP 10411500000095)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Dr. Eva Oktavianingrum, ST.MS

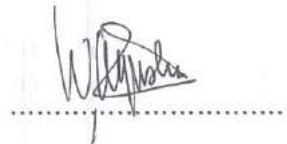


2. Ir. Agung Subyakto, MS



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Elly Agustiani, M.Eng.



SURABAYA, 26 JULI 2018

PABRIK NATRIUM HIDROKSIDA DARI GARAM NaCl DENGAN PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN

Nama Mahasiswa : Daliilah Haniifah A. (10411500000027)
: Hawazin (10411500000095)
Jurusan : Departemen Teknik Kimia Industri
Dosen Pembimbing: Ir. Elly Agustiani, M.Eng

ABSTRAK

NaOH atau caustic soda merupakan salah satu bahan kimia dasar yang memiliki peranan penting pada proses produksi, berbagai industri di Indonesia. Kebutuhan NaOH di Indonesia cukup tinggi dan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun namun produksi dalam negeri NaOH belum mencukupi kebutuhan dalam negeri. Perkiraan kebutuhan NaOH di Indonesia pada tahun 2020 sebesar 704.815,3 ton/tahun. Semakin besarnya kebutuhan NaOH di Indonesia memberikan peluang untuk didirikan sebuah pabrik NaOH. Proses pembuatan NaOH dari garam NaCl dilakukan melalui 4 tahap. Tahap pertama adalah tahap pretreatment digunakan untuk memurnikan garam NaCl dengan proses klarifier, filtrasi dengan sand filter dan plate and frame filter, serta Proses pertukaran ion dengan kation dan anion exchanger. Tahap kedua adalah pembuatan NaOH dengan proses elektrolisis dengan ion exchange membrane sebagai transportasi kation Na^+ untuk direaksikan dengan ion OH^- . Tahap ketiga adalah tahap pemekatan, yang dilakukan menggunakan multiple effect evaporator untuk menghasilkan NaOH cair 50%. Tahap terakhir adalah tahap pembentukan NaOH prilling, yang dilakukan pada spray tower dengan menghasilkan produk NaOH 98%. Pabrik Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dengan basis 24 jam/hari. Bahan baku garam NaCl sebanyak 23968,9 kg/jam. Kebutuhan utilitasnya adalah air sanitasi, air pendingin, air boiler dan air proses.

Kata kunci : NaOH, garam NaCl, elektrolisis

SODIUM HYDROXIDE PLANT FROM NaCl USING ELECTROLYSIS MEMBRANE CELL METHOD

Student : Daliliah Haniifah A. (10411500000027)
: Hawazin (10411500000095)
Department : Industrial Chemical Engineering
Supervisor : Ir. Elly Agustiani, M.Eng

ABSTRACT

NaOH or Caustic soda is one of the basic chemicals that have an important role in the production process, various industri in Indonesia. The need for NaOH in Indonesia is quite high and increase from year to year but the domestic production of NaOH has not been sufficient for domestic needs. Estimated requirement of NaOH in Indonesia by 2020 amounted to 704,815.3 tons / year. The growing need for NaOH in Indonesia provides an opportunity for the establishment of a NaOH plant. The process of making NaOH from NaCl salt is carried out in 4 stages. The first stage is the pretreatment stage used to purify the NaCl salt by clarifier process, filtration with sand filter and plate and frame filter, and ion exchange process with cation and anion exchanger. The second stage is the making of NaOH by electrolysis process with ion exchange membrane as Na^+ cation transport to be reacted with OH^- ion. The third stage is the concentration step, which is carried out using multiple effect evaporator to produce 50% liquid NaOH. The last stage is the formation stage of NaOH prilling, which is done on the spray tower dengan menghasilkan 98% NaOH product. Factory The plant is planned to operate continuously for 330 days / year on a 24 hour / day basis. The raw material of NaCl salt is 23968,9 kg / hour. Its utility needs are water sanitation, cooling water, boiler water and process water.

Keywords: NaOH, NaCl, electrolysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSETUJUAN	
KATA PENGATAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Sejarah	2
1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik	3
1.1.3 Ketersediaan Bahan Baku	4
1.1.4 Kebutuhan	5
1.1.5 Aspek Pasar	5
1.1.6 Penentuan Kapasitas Pabrik	5
1.1.7 Penentuan Lokasi Pabrik	7
1.1.8 Faktor-faktor Penentuan Lokasi	8
1.2 Dasar Teori	9
1.3 Sifat Fisika dan Kimia	9
1.3.1 Bahan Baku Utama	9
1.3.2 Bahan Baku Pendukung	10
1.4 Kegunaan <i>Sodium Tripolyphosphate</i>	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Macam Proses	13
2.1.1 Proses Dua Tahap	13
2.1.2 Proses Elektrolisis	14
2.1.3 Proses Kombinasi	15
2.2 Seleksi Proses	16
2.3 Uraian Proses Terpilih	17
2.3.1 Proses Neutralization	17

2.3.2	Proses Drying.....	18
2.3.3	Proses Calcination.....	18
BAB III NERACA MASSA		
3.1	Silo Na_2CO_3	20
3.2	Tangki Penyimpanan H_3PO_4	20
3.3	Tangki Pelarutan <i>Soda Ash</i>	20
3.4	Reaktor (R-120)	21
3.5	Reaktor (R-210)	21
3.6	Tangki Penampungan <i>Spray Dryer</i>	22
3.7	<i>Spray Dryer</i>	22
3.8	<i>Cyclone</i> (H-313)	23
3.9	<i>Screw Conveyor</i>	24
3.10	<i>Rotary Calciner</i>	24
3.11	<i>Cyclone</i> (H-414)	25
3.12	<i>Screw Conveyor</i> (J-421).....	26
3.13	<i>Rotary Cooler</i> (B-420).....	27
BAB IV NERACA PANAS		
4.1	<i>Heater</i> Na_2CO_3	29
4.2	<i>Heater</i> H_3PO_4	29
4.3	Reaktor (R-120)	30
4.4	Reaktor (R-210)	30
4.5	<i>Heater</i> (E-312).....	31
4.6	<i>Spray Dryer</i>	31
4.7	<i>Rotary Calciner</i> (B-410).....	32
4.8	<i>Rotary Cooler</i> (B-420).....	32
4.9	<i>Air Heater</i> (B-420)	33
BAB V SPESIFIKASI ALAT		
5.1	Silo <i>Soda Ash</i>	34
5.2	Tangki Penyimpanan H_3PO_4	34
5.3	<i>Belt Conveyor</i>	35
5.4	<i>Bucket Elevator</i>	35
5.5	Pompa	35
5.6	<i>Heater</i>	35
5.7	Reaktor (R-120) dan (R-210).....	36
5.8	Tangki Penampungan (F-215)	36

5.9	<i>Spray Dryer (B-310)</i>	36
5.10	<i>Screw Conveyor (J-421)</i>	37
5.11	<i>Rotary Calciner</i>	37
5.12	<i>Rotary Cooler</i>	37
5.13	<i>Vibrating Screen (H-513)</i>	38
5.14	<i>Ball Mill</i>	38
5.15	<i>Cyclone</i>	39
BAB VI UTILITAS		
6.1	Utilitas Secara Umum.....	40
6.2	Syarat Kebutuhan Air pada Pabrik	41
6.2.1	Air	
	41	
6.2.2	Air Sanitasi	41
6.2.3	Air Proses.....	42
6.2.4	Air Pendingin.....	42
6.2.5	Air Umpan Boiler	43
6.2.2	Proses Pengolahan Air	43
6.3	Utilitas pada Pabrik <i>Sodium Trypolyphosphate</i>	45
6.3.1	Air Sanitasi	45
6.3.2	Air Umpan Boiler	46
6.3.3	Air Proses.....	47
6.3.4	Air Pendingin.....	47
6.3.5	Udara Panas	47
6.3.6	LNG	47
6.4	Kebutuhan Listrik pada Pabrik	48
BAB VII KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA		
7.1	Pendahuluan.....	49
7.1.1	Kesehatan dan Keselamatan Kerja Secara Umum..	49
7.1.2	Kecelakaan Kerja.....	50
7.1.3	Potensi Bahaya Lingkungan Kerja.....	56
7.2	Alat Perlindungan Diri (APD).....	58
7.2.1	Penjelasan Alat Perlindungan Diri secara Umum...	58
7.2.2	Syarat-syarat Alat Perlindungan Diri.....	59
7.2.3	Jenis-jenis Alat Perlindungan Diri secara Umum...	59
7.3	Instalasi Pemadaman Kebakaran	61

7.4	Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Pabrik.....	62
7.4.1	Sistem yang Digunakan pada Pabrik	62
7.4.2	Alat Perlindungan Diri pada Pabrik.....	63
7.4.3	Keselamatan Pabrik yang ada pada Pabrik	68
BAB VIII INSTRUMENTASI		
8.1	Instrumentasi Secara Umum	70
8.2	Jenis-jenis Alat Kontrol dalam Bidang Industri.....	72
8.3	Instrumentasi pada Pabrik.....	73
BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA		
9.1	Pengolahan Limbah Industri Kimia	75
BAB X KESIMPULAN		
10.1	Kesimpulan	77
DAFTAR NOTASI		xi
DAFTAR PUSTAKA		xiii
LAMPIRAN :		
APPENDIX A NERACA MASSA.....		A-1
APPENDIX B NERACA PANAS.....		B-1
APPENDIX C SPESIFIKASI ALAT.....		C-1
Flowsheet Proses Pabrik STPP		
Flowsheet Utilitas Pabrik STPP		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kebutuhan Impor di Indonesia 2012-2016	5
Gambar 1.2	Kebutuhan Ekspor di Indonesia 2012-2016.....	6
Gambar 1.3	Daerah Lokasi Pendirian Pabrik.....	7
Gambar 2.1	<i>Two-stage Process for Production of STPP</i>	13
Gambar 2.2	Proses Hoechst-Knapsack	14
Gambar 2.3	Proses Kombinasi	15

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1	Kebutuhan Impor di Indonesia 2012-2016.....	5
-------------------	---	---

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jumlah kebutuhan <i>Sodium Tripolyphosphate</i> di Indonesia.....	4
Tabel 2.1	Data Perbandingan Proses	17
Tabel 8.1	Tabel Sistem Kontrol pada Pabrik.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.1 Latar Belakang

1.1.1 Sejarah Natrium Hidroksida

Larutan kasutik soda telah dibuat sejak soda digunakan, sekitar pertengahan abad ke-18, tetapi pada tahun 1890 kaustik soda tidak lagi diproduksi dengan cara ini untuk konsumsi industry. Tidak lama kemudian sebelum perang dunia pertama jumlah kasutik soda yang dijual sebagai produk utama dari klorin dengan proses elektrolisis hampir diabaikan dibandingkan dengan kaustik soda yang dibuat dari soda ash dengan proses kaustikasi. Namun pada tahun 1940, eletrolisis kaustik lime soda, dan 1962 proses tersebut hampir menghilang (*Shreve, 1956*).

1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Seiring dengan meningkatnya permintaan pasar dan kebutuhan masyarakat terhadap berbagai produk industry seperti sabun, minyak goreng, kertas dsb serta Indonesia yang saat ini sedang bersiap menghadapi era perdagangan bebas, Indosesia di tuntut untuk mampu bersaing dengan negara lain dalam bidang industry. Sektor industry memiliki pengaruh besar dlam kemajuan dan pertumbuhan ekonomi suatu negara untuk berkembang. Saat ini kimia dasar untuk memenuhi kebutuhan proses produksi, salah satu bahan kimia dasar yang sangat penting NaOH atau *caustic soda* merupakan salah satu bahan kimia dasar yang memiliki peranan penting pada proses produksi, berbagai industri di Indonesia, baik sebagai bahan baku utama maupun bahan baku pendukung.

Kebutuhan NaOH di Indonesia cukup tinggi dan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun namun produksi



BAB I Pendahuluan

dalam negeri NaOH belum mencukupi kebutuhan dalam negeri. Padahal NaOH digunakan hampir semua industry kimia. Data kapasitas produksi pabrik pembuatan NaOH di Indonesia:

Tabel 1.1 Kapasitas Produksi Pabrik NaOH di Indonesia

Pabrik di Indonesia	Lokasi	Kapasitas produksi (Ton/Tahun)
PT. Asahimas Chemical	Cilegon	700.000
PT. Sulfindo Adiusaha	Serang	215.000

Dengan didirikannya pabrik NaOH ini diharapkan mampu memberikan keuntungan sebagai berikut :

- Pabrik-pabrik industry tekstil (pemrosesan kapasitas dan dalam proses pewarnaan serat sintetis seperti nilon dan polyester), industri sabun dan deterjen, industry minyak dan gas bumi (migas), industry kimia (sebagai bahan baku pembuatan plastik, obat-obatan, pelarut, kain sintetis, zat pewarna, cat, tinta dan lain-lain) akan semakin berkembang memungkinkan kebutuhan akan NaOH semakin meningkat.
- Menghemat sumber devisa negara karena dapat mengurangi ketergantungan impor.
- Membantu pabrik-pabrik di Indonesia yang memakai NaOH sebagai bahan bakunya, karena selain lebih murah juga kontinuitasnya lebih terjaga.
- Membuka lapangan kerja yang baru.

1.1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku dari pabrik NaOH dari garam NaCl ini adalah garam NaCl. Sumber bahan baku pada industry pembuatan NaOH ini diperoleh dengan mengimpor garam NaCl dari Australia. Garam NaCl yang didapat kemudian dilarutkan



kedalam air hingga menjadi *saturated brine* barulah masuk kedalam proses. Berikut merupakan perbandingan kandungan NaCl dalam negeri dan NaCl impor :

Tabel 1.2 Perbandingan Kandungan NaCl di Indonesia dan Australia

Parameter	Indonesia	Australia
NaCl	80,1170 %	99,7 %
SO ₄ ²⁻	0,2 %	1200 ppm
Mg	0,0399 %	200 ppm
Ca	2,7812 %	400 ppm
H ₂ O	5,2141 %	2 %

(Sedivy,2009).

1.1.4 Penentuan Kapasitas Pabrik

Pemilihan kapasitas perancangan didasarkan pada kebutuhan NaOH di Indonesia, tersedianya bahan baku, serta ketentuan kapasitas minimum.

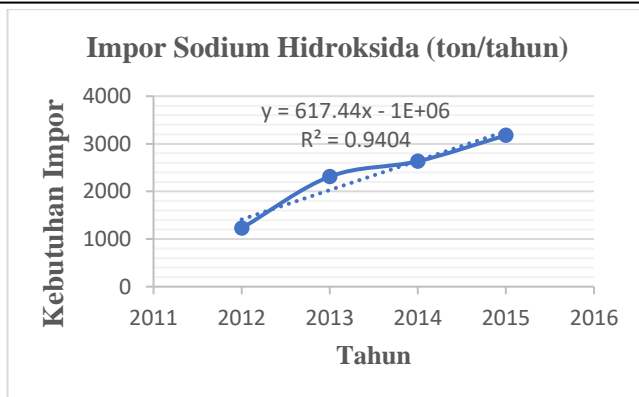
Proyeksi Kebutuhan NaOH di Indonesia

Kebutuhan NaOH di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Hal ini menunjukan pesatnya perkembangan industry kimia di Indonesia. Pembangunan pabrik NaOH di rencanakan didirikan pada tahun 2020. Dari data pusat statistic (BPS) kebutuhan impor lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan ekspor yang cenderung turun. Di bawah menunjukkan data ekspor dan impor dari NaOH :

Tabel 1.3 Data Impor Ekspor NaOH

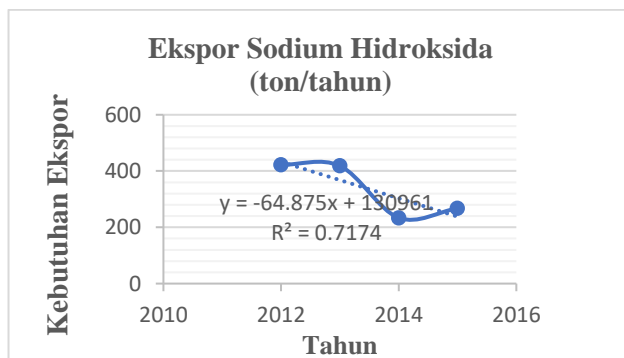
Tahun	Impor (Kg)	Ekspor (Kg)
2015	2.311.185	418.223
2014	2.633.265	233.839
2013	3.178.516	267.405
2012	2.856.502	375.286

(BPS, 2017).



Grafik 1.1 Kebutuhan Impor NaOH di Indonesia tahun 2012-2015

Dari **Grafik 1.1** didapatkan persamaan linier kebutuhan NaOH di Indonesia adalah $y = -617.44x - 1E+06$. Sehingga dapat diperkirakan bahwa kebutuhan impor NaOH di Indonesia tiap tahun meningkat. Pada tahun 2020 diperkirakan kebutuhan NaOH akan meningkat jika masih sedikitnya pabrik NaOH di Indonesia, diperkirakan kebutuhan NaOH mencapai 247.228,8 ton/tahun.



Grafik 1.2 Kebutuhan Ekspor NaOH di Indonesia Tahun 2012-2015



Dari **Grafik I.2** didapatkan persamaan linier kebutuhan NaOH (sodium hidroksida) di Indonesia adalah $y = -64,875x + 130961$, sehingga dapat diperkirakan bahwa kebutuhan ekspor NaOH (Sodium Hidroksida) sehingga dapat diperkirakan bahwa kebutuhan Ekspor NaOH di Indonesia tiap tahun meningkat. Pada tahun 2020 diperkirakan kebutuhan NaOH mencapai -86,5 ton/tahun.

Berdasarkan data-data diatas, dapat dihitung kebutuhan NaOH dalam negeri pada tahun 2020 sebagai berikut :

Kebutuhan NaOH dalam negeri

$$\begin{aligned} &= [F(\text{Produksi}) + F(\text{Impor}) - F(\text{Ekspor})]^{2020} \text{ ton} \\ &= [457.500 + 247.228,8 - (-86,5)] \text{ ton} \\ &= 704.815,3 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Pendirian pabrik glukosa dengan kapasitas yang cukup besar dirasakan perlu, mengingat nilai impor NaOH yang cukup tinggi, serta kebutuhan NaOH yang relatif meningkat dalam industri setiap tahunnya.

Kapasitas pabrik yang masih dibutuhkan:

$$\begin{aligned} &= \text{Kebutuhan NaOH} - \text{Produksi NaOH} \\ &= 704.815,3 - 457.000 \\ &= 247.315,3 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Kapasitas produksi untuk pabrik yang akan didirikan direncanakan akan mendominasi 15 % dari total kebutuhan NaOH di Indonesia yang belum terpenuhi, maka kapasitas produksi menjadi:

Kapasitas pabrik yang direncanakan:

$$\begin{aligned} &= 15 \% \times 247.315,3 \text{ ton} \\ &= 37.097,295 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Kapasitas dibulatkan menjadi 37.000 ton/tahun, dimana pabrik akan beroperasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun.



1.1.5 Pemilihan Lokasi

Lokasi pabrik sangat berpengaruh terhadap keadaan suatu proyek industri baik dari segi komersial maupun kemungkinan pengembangan dimasa mendatang. Banyak faktor yang dipertimbangkan dalam memilih lokasi pabrik. Pendirian pabrik direncanakan di kawasan industri cilegon, banten. Pemilihan lokasi didasarkan pada pertimbangan berikut :



Gambar 1.1 Kawasan Industri Cilegon Banten

a. Sumber Bahan Baku

Penyediaan bahan baku merupakan hal yang paling penting dalam mengoperasikan pabrik, karena pabrik beroperasi atau tidak sangat tergantung pada persediaan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kaustik soda yaitu garam yang dapat diperoleh dari mengimpor, oleh karena itu dipilih lokasi yang dekat dengan pelabuhan.

b. Sarana Transportasi

Sasaran pemasaran sebaagaian besar adalah untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri disamping sebagian sisa lainnya untuk diekspor. Untuk itu lokasi pabrik harus berdekatan dengan sarana perhubungan laut dan darat. Fasilitas jalan dan pelabuhan di merak mendukung sekali



untuk kepentingan tersebut. Dan pelabuhan yang ada sudah banyak disinggahi kapal-kapal besar sehingga dapat mendukung keberlangsungan pabrik dan pemasaran hasil produksi juga menjadi lebih mudah.

c. Pemasaran

Prospek pasar menjadi sangat penting karena untung ruginya satu pabrik sangat tergantung pada pemasaran produknya, sehingga lokasi pabrik harus didirikan di daerah yang bagus prospek pemasarannya. NaOH merupakan salah satu bahan yang banyak dibutuhkan oleh industri. Oleh karena itu lokasi pendirian pabrik mendekati lokasi industri-industri tersebut akan sangat menguntungkan.

d. Utilitas

Untuk kelancaran operasi pabrik, perlu diperhatikan sarana-sarana pendukung seperti air, listrik, dan lain lain, agar proses produksi dapat berjalan dengan baik. Penyediaan tenaga listrik diperoleh dari PLN dan generator set sebagai cadangan. Penyediaan air diperoleh dari air sungai, sedang *steam* yang akan digunakan merupakan dari unit boiler.

e. Tenaga Kerja

Tenaga kerja mutlak diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi, pendirian pabrik diharapkan dapat menyerap tenaga kerja dan mengurangi pengangguran. Di kawasan industri seperti merak tenaga kerja bukan masalah yang berarti.



1.1.2 Dasar Teori

1.1.3 Proses Industry Klor-Alkali

Natrium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau natrium hidroksida, adalah sejenis logam kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan kedalam air. Ia digunakan diberbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, airminum, sabun dan detergen. Pembuatan NaOH dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *lime soda* dan proses elektrolisis (Shreve, 1959).

Proses elektrolisis adalah salah satu cara untuk membuat soda kaustik dan klor, yang masih banyak diergunakan di industry. Elektrolisis larutan garam menghasilkan klor pada anode dan hydrogen pada katode. Bersama natrium hidroksida pada katode. Jika klor dan natrium hidroksida yang diinginkan sebagai produk akhir, rancangan sel harus dibuat sedemikian rupa sehingga kedua bahan tersebut tidak bercampur.

Ada tiga jenis rancangan sel yang paling banyak digunakan di industri, yaitu sebagai berikut :

- a. Sel diafragma (1890)
- b. Sel merkuri (1892)
- c. Sel membran (1970)

Sebelum dimasukkan kedalam sel elektrolisis, air garam terlebih dahulu harus melalui proses pemurnian karena mengandung pengotor seperti kalsium, besi dan magnesium. Pemisahan pengotor dapat dilakukan dengan menggunakan resin penukar ion. Akan tetapi, proses ini memerlukan biaya yang besar untuk pembelian dan regenerasi resin. Oleh karena itu digunakan



senyawa kimia yaitu Na_2CO_3 yang lebih murah, sel membran dilakukan pengolahan tambahan dengan fosfat.

Tahap-tahapnya adalah sebagai berikut :

1. Pengendapan

Tahap awal dari pemurnian air garam adalah pengendapan kalsium dan ion magnesium sebagai kalsium karbonat (CaCO_3) dan magnesium hidroksida (Mg(OH)_2) dengan menggunakan natrium karbonat dan natrium hidroksida. Logam (besi, titanium, molibdenum, nikel, kromium, vanadium, tungsten) juga dapat diendapkan sebagai hidroksida.

2. Penyaringan

Pengotor yang berupa endapan dihilangkan dengan sedimentasi, filtrasi atau kombinasi dari keduanya.

Air garam murni harus mengandung idealnya :

$\text{Ca} < 2\text{m/l}$: $\text{Mg} < 1\text{mg/l}$: $\text{SO}_4 < 5\text{g/l}$.

(Ullmann, 1996).

1.3 Kegunaan

Natrium hidroksida memiliki banyak kegunaan. Lebih dari 48% produksinya digunakan pada industry kimia, antara lain :

1. Dalam kimia organik natrium hidroksida digunakan pada industry garam sodium, untuk proses pemecahan alkali dan untuk pengaturan pH.
2. Pada indsutri kimia organik natrium hidroksida digunakan untuk reaksi saponifikasi, etherifikasi, dan esterifikasi, dan bahan dasar organik. Larutan natrium hidroksida digunakan untuk proses scrubber gas sisa dan netralisasi limbah.



BAB I Pendahuluan

3. Pada industry kertas, larutan natrium hidroksida digunakan untuk penghilangan lignin.
4. Industry tekstil menggunakan larutan natrium hidroksida untuk mengolah permukaan kain katun.
5. Natrium hidroksida digunakan untuk produksi sodium phosphate dan industry deterjen.
6. Pada industri aluminium natrium hidroksida banyak digunakan untuk mengolah bauksit.
7. Natrium hidroksida digunakan sebagai pelarut untuk meregenerasi ion exchanger pada proses pemurnian air.
8. Penggunaan lain dari natrium hidroksida yaitu untuk teknologi electroplating, gas alam dan industry petroleum, industry gelas dan besi.

(Ullmann, 1996).

1.4 Sifat Fisika & Kimia

1.4.1 Bahan Baku

1.4.1.1 Bahan Baku Utama

1. Garam Laut (NaCl)

- **Sifat Fisika**

- Massa Atom Relatif : 58.44
- Wujud : Padatan, putih
- Titik Leleh : 800.4 °C
- Titik Didih : 1413 °C
- Specific gravity : 2.163

(Perry, 2007)

- **Sifat Kimia**

- Mudah larut dalam air dingin dan air panas.
- Larut dalam gliserol, dan amonia.
- Sangat sedikit larut dalam alkohol.



- Tidak larut dalam Asam klorida.

(MSDS, 2015)

1.4.1.2 Bahan Pembantu

1. Na_2CO_3

- Sifat Fisik

Wujud : Padatan

Warna : Putih

Berat Molekul : 105.99 g/mole

Titik Leleh : 851°C (1563.8°F)

Specific Gravity : 2.532

- Sifat Kimia

- Mudah larut dalam air hangat, glycerol, acetone, dan alcohol.

(MSDS, 2015)

2. HCl

- Sifat Fisik

Wujud : Cairan

Warna : Tidak berwarna hingga kuning terang

Titik Didih : 50.5°C (122.9°F)

Titik Leleh : -46.2°C (-51.2°F)

Specific Gravity : 1.19

- Sifat Kimia

- Larut dalam air panas, air dingin, dan diethyl eter

(MSDS, 2015)

3. H_2SO_4

- Sifat Fisik

Wujud : Cairan

Warna : Tidak berwarna

Berat Molekul : 98.08 g/mole



BAB I Pendahuluan

Titik Didih : 270°C (518°F)

Titik Leleh : -35°C (-31°F)

Specific Gravity : 1.84

- Sifat Kimia
 - Mudah larut dalam air dingin dan ethyl alcohol
(*MSDS, 2015*)

1.4.2 Produk

1.4.2.1 Produk Utama

1. *Caustic Soda* (NaOH)

- Sifat Fisika
 - Massa Atom Relatif : 40
 - Wujud : Putih, kristal
 - Titik Leleh : $322 \pm 2^{\circ}\text{C}$
 - Titik Didih : 1388°C
 - Densitas : 1.77 g/cm^3
 - Specific Heat Capacity : $3.24 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
 - Heat of Fusion : 6.77 kJ/mol
- Sifat Kimia
 - NaOH murni sangat higroskopik
 - NaOH bereaksi dengan CO_2 membentuk Sodium Carbonate
 - NaOH bereaksi dengan CO membentuk Sodium Formate

(*Ullmann, 1996*)

1.4.2.2 Produk Samping

1. Chlorine (Cl_2)

- Sifat Fisika
 - Nomor Atom : 17
 - Massa Atom Relatif : 35.453



- Titik Leleh : 172.17 K (-100.98⁰C)
- Titik Didih : -34.05⁰C
- Critical Density : 565.000 kg/m³
- Critical Temperature : 471.15 K
- Critical Pressure : 7.771083 MPa
- Enthalpi of Fusion : 90.33 kJ/kg
- Enthalpi of Vaporization : 287.1 kJ/kg
- Enthalpi of Dissociation : 239.44 kJ/mol
- Standard Electrode potential : 1.359 V
- Sifat Kimia
 - Chlorine bereaksi dengan ammonia
 - Chlorine bereaksi dengan nitric oxide menghasilkan nitrosyl chloride
 - Chlorine bereaksi dengan carbon disulfide menghasilkan carbon tetrachloride

(Ullmann, 1996)

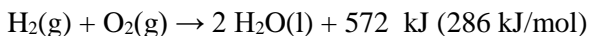
2. Hidrogen (H₂)

- **Sifat Fisika**

- Nomor atom : 1
- Massa Atom Relatif : 2.02
- Wujud : Gas tidak berwarna dan tidak berbau
- Titik Leleh : -259.1⁰C
- Titik Didih : -252.7⁰C
- Specific Gravity : 0.06948

- **Sifat Kimia**

Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



(MSDS, 2015)

**1.4.3 Pengotor**1. CaCO_3

• Sifat Fisik

Wujud : Padatan
Warna : Tidak berwarna
Berat Molekul : 100.09 g/mole
Titik Leleh : 825°C (1517°F)
Specific Gravity : 2.8

• Sifat Kimia

- Terlarut dalam jumlah yang sedikit dalam air dingin.
- Terlarut dalam asam yang encer.
- Tidak terlarut dalam alkohol.

2. Mg(OH)_2

• Sifat Fisik

Wujud : Padatan
Berat Molekul : 58.32 g/mol
Specific Gravity : 2.36

• Sifat Kimia

- Terlarut dalam jumlah sedikit didalam air dingin.

3. Na_2SO_4

• Sifat Fisik

Wujud : Padatan
Warna : Tidak berwarna
Berat Molekul : 142.06 g/mole
Titik Didih : 1100°C (2012°F)
Titik Leleh : 888°C (1630.4°F)
Specific Gravity : 2.761



- Sifat Kimia
 - Larut dalam hydrogen iodide, dan gliserol.
 - Tidak larut dalam alkohol.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

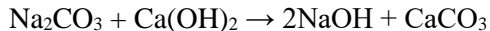
MACAM DAN URAIAN PROSES

2.1 Macam Proses Pembuatan NaOH

Pembuatan sodium hidroksida dapat dilakukan melalui dua cara. Berikut merupakan macam proses dalam pembuatan sodium hidroksida:

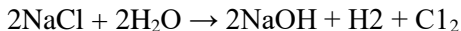
1. Proses Lime Soda

Sodium hidroksida (kaustik soda, kaustik) dibuat bertahun-tahun dengan proses lime soda, yang melibatkan reaksi slaked lime dan soda abu.



2. Proses Elektrolisis

Pada tahun 1892, elektrolisis air garam ditemukan sebagai metode pembuatan baik sodium hidroksida dan klorin, dan sejak tahun 1960an telah terjadi satu-satunya metode pembuatan sodium hidroksida dengan proses elektrolisis.



(Speight, 2001).

Sodium hidroksida di produksi secara komersial dalam 2 bentuk: sebagai 50% wt *solution* (produk yang paling umum) dan dalam keadaan padat (*caustic soda*) seperti *prills*, *flakes*, atau dalam bentuk cor.

(Fritz Ullmann, 2005).

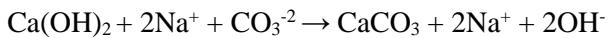
2.1.1 Proses Lime Soda

Meski proses lime soda tidak lagi digunakan untuk menghasilkan soda kaustik untuk penjualan, prosesnya tetap dipasarkan oleh industri. Yang terpenting adalah pemulihan kraft, dimana cairan "*green*" (larutan encer sodium karbonat) dibatasi



untuk menghasilkan cairan "white", atau soda kaustik, untuk kembali ke digester pulp (lihat Pulp). Proses ini juga menemukan penggunaan terbatas dalam produksi alumina, di mana abu kapur dan soda dibebankan ke digester bauksit. Di bawah kondisi operasi digester, reaksinya tidak lengkap, mengakibatkan hilangnya efisiensi dan kesulitan lainnya. Akibatnya, sebagian besar pabrik alumina lebih suka mengumpankan soda kaustik langsung ke digester.

Persamaan kimia untuk proses ini adalah:



Sodium hidroksida adalah salah satu produk utama dari soda ash dan sering dibuat pada pabrik soda ash. Produksi CO_2 digunakan dalam proses *solway* untuk membentuk kalsium oksida yang digunakan untuk proses kauskatik soda ash. Panas dari reaksi ini kecil.



Sodium Karbonat + Kalsium Oksida → Sodium
Hidroksida + Kalsium Karbonat

Pada proses lime soda, larutan sodium karbonat (soda ash) diolah dengan kalsium hidroksida untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat dan larutan sodium hidroksida. Setelah penghilangan karbonat yang tidak terlarut, larutan dipekatkan untuk menghasilkan bebrbagai kelas dari sodium hidroksida yang dijual (*Shreve, 1956*).

Proses bisa beroperasi secara *batch* ataupun secara kontinyu. Pada proses kedua, 20% larutan sodium karbonat dimasukkan kedalam *causticizer* dengan sedikit kelebihan *slake*. Reaksi ini terjadi pada suhu 85°C .

Setelah proses agitasi selama 1 jam, larutan akan mengendap pada thickener, yang biasanya berbentuk multi tray dan terdiri dari dua hingga tiga unit dalam 1 serinya. Larutan dari



thickener pertama masuk kedalam evaporator untuk dipekatkan atau bisa menjadi produk akhir. Larutan mengandung 1 sampai 12% sodium hidroksida dan diperoleh konversi 95 sampai 96% berdasarkan sodium karbonat.

Endapan dari thickener pertama dipompa menuju thickener kedua, dimana air panas dan filtrat dari proses selanjutnya ditambahkan. Larutan ini mengandung sodium hidroksida dan karbonat dalam konsentrasi rendah dan biasanya digunakan sebagai make up 20% dari larutan sodium karbonat (soda ash). Endapan dari thickener kedua disaring dan dicuci. Filtrat yang dihasilkan akan dikembalikan seperti yang disebutkan sebelumnya, sedangkan yang tertinggal pada saringan, dimana banyak mengandung kalsium karbonat, diproses menuju kiln untuk dibentuk menjadi kalsium oksida. Bahan ini akan dimasukan bersarna larutan soda ash menuju ke kombinasi classifier-slaker, dimana kapur terbentuk dan pasir dihilangkan untuk membentuk slurry. dimana akan dimasukan ke dalam causticizer untuk memulai proses.

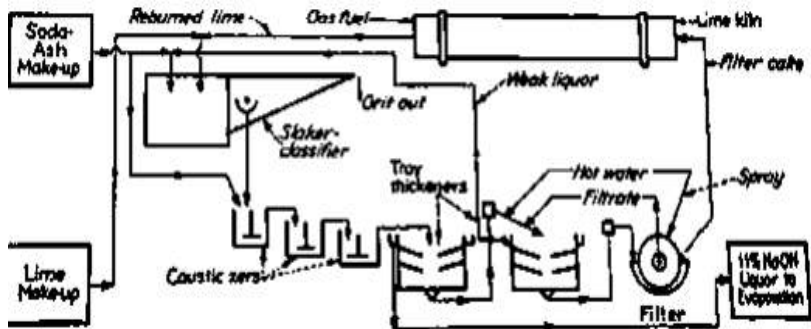
Larutan yang berasal dari thickener pertama mengandung 11% sodium hidroksida dan 1,7% sodium karbonat. Larutan ini dipekatkan pada multiple effect evaporator menghasilkan 50% sodium hidroksida. Meningkatnya konsentrasi sodium hidroksida, sodium karbonat menjadi kurang larut dan akhirnya mengendap, oleh karena itu sodium hidroksida yang 50% yang terakhir hanya mengandung 0,15% sodium karbonat. Setelah pengendapan pada thickener yang lain, larutan yang siap disimpan. Endapan dari thickener akan disaring dan filtratnya dikembalikan.

Endapan yang tertinggal pada saringan kebanyakan adalah sodium karbonat yang tidak terbentuk sempurna dan sodium klorida yang berasal dari soda ash, dikembalikan pada causticizer.



BAB II Macam dan Uraian Proses

Larutan sodium klorida 50% bisa di jual ataupun dipekatkan kembali (Clarks, 1970).



Gambar 2.1 Proses dengan Lime Soda

2.1.2 Proses Elektrolisis (Chlor-Alkali)

Produk utama dari industri alkali dan klorin (Chlor-Alkali) adalah natrium hidroksida (soda api), klorin, natrium karbonat (soda ash), kalium hidroksida (kaustik kalium) dan asam hidroklorida (asam muratik) (Bockris, 1980).

Ada tiga jenis sel elektrolitik yang digunakan secara komersial untuk produksi klor-alkali:

1. Sel diafragma (1890)
2. Sel merkuri (1892)
3. Sel membran (1970)

(Bockris, 1980).

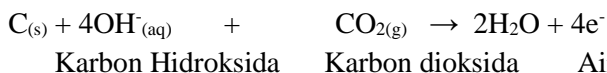
a. Proses Elektrolisis dengan Sel Diafragma

Pada tahun 1890-an, suatu proses baru untuk produksi sodium hidroksida dan klorin dikembangkan dan penggunaannya berkembang dengan cepat, yaitu pembuatan sodium hidroksida dan klorin dari larutan garam secara elektrolisis. Sodium hidroksida dan klorin dapat bereaksi membentuk sodium hipoklorit (NaClO)



dengan reaksi lebih lanjut untuk menghasilkan sodium klorat (NaClO_3) pada temperatur operasi diatas 40°C . Untuk mencegah hal tersebut, maka ruang katode dan anode dipisahkan menggunakan sekat yang disebut diafragma, sehingga sel ini dinamakan sel diafragma. Teknik utama untuk elektrolisis di Amerika Serikat ialah sel diafragma.

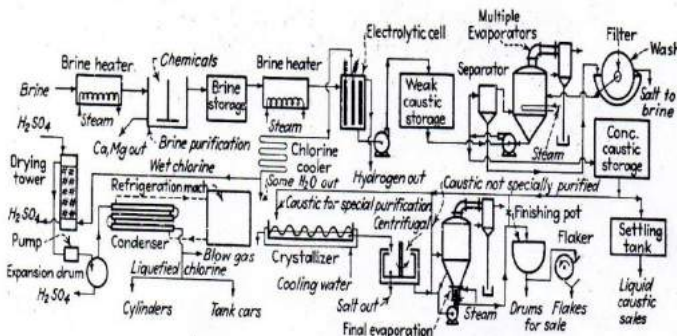
Sel diafragma juga menjaga bercampurnya gas hidrogen dan gas klor, karena kedua gas tersebut dapat menyebabkan terjadinya ledakan apabila bercampur. Sel diafragma terbuat dari suatu selaput berpori yang dapat dilalui ion-ion, namun tetap dapat menahan percampuran produk. Sel diafragma yang lama menggunakan anode grafit dan katode berupa kotak baja dengan sisi yang berpori. Apabila digunakan elektrode grafit, maka akan terjadi reaksi berikut.



Dengan demikian, anoda harus diganti secara rutin. Diafragma terbuat dari bahan yang mempunyai sifat permeabilitas, seperti asbes atau *fluoro carbon* yang ditempatkan pada selaput berpori. Awalnya, diafragma yang digunakan terbuat dari asbes. Diafragma itu kemudian tersumbat karena pemakaian dan ini akan terlihat dari penurunan voltase. Diafragma itu harus diganti secara berkala. Sel yang menggunakan anode, yang terbuat dari titanium yang dilapisi platinum, ruthenium, iridium jarang menyebabkan diafragma tersumbat sehingga sel dapat beroperasi selama 12-24 tanpa pergantian diafragma.

Pada sel diafragma, hasil dari ruangan katode merupakan suatu campuran, yaitu 10-12% NaOH dan 14-16% NaCl (aq). Untuk pengiriman, larutan ini perlu dipekatkan terlebih dahulu, biasanya sampai 50% dan ini menelan banyak energi, bahkan menggunakan evaporator efek ganda. Untuk menghasilkan 1 ton kaustik 50% air yang harus diuapkan mencapai 2600 kg. Walaupun garam tidak terlalu larut dalam larutan kaustik, ion klorida yang masih tertinggal sedikit itu tidak dapat diterima bagi industri. Sodium klorat juga merupakan masalah jika kaustik itu hendak digunakan pada pembuatan gliserin, sodium sulfat, sodium hidrosulfat, dan bahan kimia lainnya.

Larutan dari ruangan katode dipekatkan dengan penguapan air agar konsentrasi NaOH bertambah dan pemurniari NaOH dilakukan dengan pengkristalan NaCl (p). Hasil akhir dalam proses klor—alkali tersebut adalah 50% NaOH (aq) dengan sekitar 1% NaCl berupa pengotoran. Cl₂ (g) dapat mengandung sekitar 1,5% O₂ (g) disebabkan proses oksidasi (*O'Brien, 2007*).

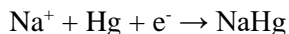


Gambar 2.2 Proses Pembuatan Sodium Hidroksida menggunakan sel diafragma

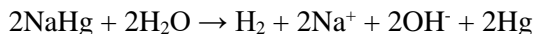
**b. Proses Elektrolisis dengan Sel Merkuri**

Suatu proses elektrolisis dalam industri alkali yang menghasilkan NaOH (aq) dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan sel diafragma adalah sel merkuri. Dalam elektrolisis tersebut, anodanya terbuat dari grafit atau titanium, tetapi katodanya adalah kolam aliran raksa (merkuri).

Dalam sel merkuri, reaksi elektroda adalah:



dan amalgam natrium dihidrolisis:

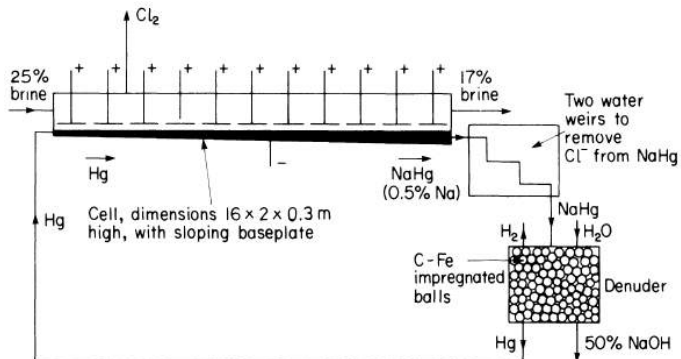


dengan adanya katalis dalam reaktor terpisah yang dikenal sebagai *denuder*. Potensi sel reversibel - 3,16 V dan, asalkan anodanya adalah DSA, kelebihan muatan yang terkait dengan reaksi elektroda sangat rendah. Normal tegangan sel sekitar -4,50 V dan tegangan tambahan diperlukan untuk menggerakkan arus melalui celah Hg-DSA, elektroda dan sambungan sel dan *busbar*.

Sel merkuri berdimensi 15 x 2 x 0,3 m, dengan dasar baja yang sedikit miring dari ujung ke ujung sehingga air raksa bisa mengalir di sepanjang bagian bawah sel. Dilapisi, titanium diperluas anoda stabil dimensi (DSA), masing-masing perkiraan dimensi 30 x 30 cm, masukkan sel dari atas dan disusun sejajar dengan permukaan Hg dengan celah katoda anoda kurang dari 1 cm. Sel akan memiliki sekitar 250 anoda semacam itu sehingga sebagian besar merkuri ditutupi oleh anoda; sel mendekati konfigurasi pelat sejajar horizontal. Konsentrasi air garam 25% dan suhu 60°C-mengalir melalui sel dan keluar dengan konsentrasi 17% dapat

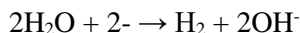
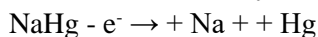


diumpun kembali melalui deposit garam atau, setelah perawatan. Gas klor meninggalkan sel di bagian atas sementara natrium amalgam (sekitar 0,5% natrium) di bagian dasar, melewati dua *washing weirs* untuk menghilangkan semua larutan natrium klorida dan masuk ke dalam *denuder* (bejana reaksi silindris yang dikemas dengan bola grafit penuh dengan logam transisi (misalnya Fe atau Ni) untuk mengkatalisis amalgam penguraian).



Gambar 2.3 Desain Sel Merkuri dengan Sirkuit Hg

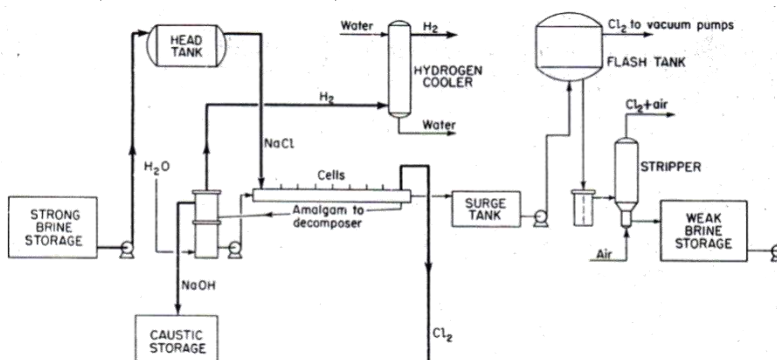
Campuran natrium amalgam dan volume air murni yang terkontrol dapat menurunkan grafit dan bereaksi. Telah dicatat di atas bahwa reaksi air amalgam natrium secara kinetis terhalang; Di sisi lain, reaksi terjadi cepat di *denuder* dan sangat eksotermik, karena logam transisi menyediakan permukaan alternatif untuk merkuri untuk reaksi evolusi hidrogen. Reaksi di dalam denuder terjadi oleh jenis mekanisme korosi, reaksinya:



terjadi pada bagian yang berbeda dari permukaan grafit yang terimpregnasi namun pada tingkat yang sama bahwa



tidak ada arus bersih yang mengalir. Gas hidrogen keluar dari bagian atas denuder, dan merkuri untuk resirkulasi ke sel dan natrium hidroksida berair terpisah di bagian bawah. Oleh karena itu, dengan mengendalikan laju umpan air, adalah mungkin menghasilkan soda kaustik 50% secara langsung. (Derek Pletcher, 1993).



Gambar 2.3 Proses Elektrolisis menggunakan Sel Merkuri

c. Proses Elektrolisis dengan Sel Membran

Sel membran menggunakan membran semipermeabel untuk memisahkan kompartemen anoda dan katoda. Dengan sel diafragma, migrasi kembali ion dikendalikan oleh laju aliran cairan melalui diafragma, dan ini diatur dengan kontrol tingkat cairan yang hati-hati di kompartemen. Sel membran memisahkan kompartemen dengan lembaran plastik aktif berpori yang memungkinkan ion natrium melewatinya namun menolak ion hidroksil (Austin, 1945).

Proses elektrolisis larutan garam (*brine*) dengan menggunakan sel membran merupakan teknologi paling modern dalam industri klor alkali. Beberapa jenis polimer



dikembangkan untuk digunakan sebagai membran dalam industri tersebut. *Du Pont* mengembangkan *polumer asam perfluorosulfonat* (Nafion), sedangkan Ashai rnenggunakan membran berlapis banyak yang terdiri dari polimer asarn *perfluorosulfonat* yang dilapisi pada satu sisinya dengan polimer asarn perfluorokarboksilat. Untuk memberikan kekuatan mekanik membran, membran umumnya diperkuat dengan PTFE (*polytetrafluoroethylene*) serat (Austin, 1945).

Dalam sel membran tersebut, ruang anoda dan ruang katoda dipisahkan oleh suatu membran yang dapat dilalui oleh kation (ion positif) atau disebut juga membran penukar ion. Membran penukar ion tersebut memiliki peranan penting yaitu menjadi media yang memungkinkan terjadinya perpindahan ion-ion sodium (Na^+) dari ruang anoda ke ruang katoda. Namun membran tersebut mencegah mengalirnya ion Cl^- ke ruang katoda dan mencegah sebagian besar ion OH^- ke ruang anoda sehingga soda kaustik yang dihasilkan tidak bereampur dengan larutan garam.

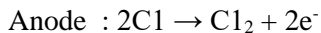
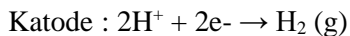
Sel membran beroperasi dengan menggunakan, larutan gararn yang lebih pekat dan menghasilkan produk yang lebih murni dan lebih pekat (28% NaOH yang mengandung 50 ppm NaCl; dan produk dengan 40% NaOH). Larutan garam sodium klorida jenuh yang mengandung ion-ion Na^+ and Cl^- dialirkan ke dalam ruang anoda, sedangkan pada ruang katoda diisi air rnumi. Suatu arus searah (DC) kemudian dialirkan melalui sel tersebut.

Pada anoda, ion-ion klorida (Cl^-) dalam larutan garam (NaCl) mengalami oksidasi menjadi gas klorin



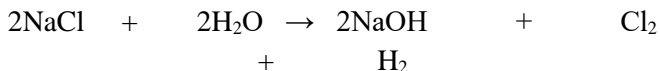
(Cl₂), sedangkan pada katoda ion-ion hidrogen (H⁺) dalam air mengalami reduksi menjadi gas hidrogen (H₂).

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Selanjutnya, ion-ion sodium (Na⁺) yang berpindah dari anoda ke katoda bereaksi dengan ion-ion hidroksida (OH⁻) menghasilkan soda api (NaOH) dengan konsentrasi 32-35%. Untuk mencapai konsentrasi soda api 50%, larutan kaustik yang diproduksi harus dipekatkan dengan penguapan (terkonsentrasi di *vaporizer*).

Reaksi elektrolisis larutan garam (NaCl) secara keseluruhan dapat dituliskan sebagai berikut:



Sodium Klorida Air Sodium Hidroksida
Klorin Hidrogen
(O'Brien, 2007).

2.2 Seleksi Proses

Berdasarkan uraian singkat mengenai proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk NaOH, dapat dilihat kelebihan dan kekurangan proses sebagai berikut :

Maka proses yang dipilih untuk proses pembuatan NaOH adalah dengan metode sel membrane dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Proses membrane tidak menggunakan bahan yang sangat beracun seperti merkuri dan asbes.
- Penggunaan listrik yang lebih hemat dibandingkan 2 proses lainnya.



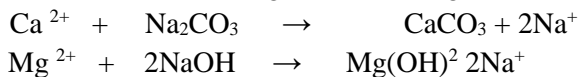
- c. Kemurnian dari produk akhir yang dihasilkan dengan metode sel membrane sangat tinggi dengan hanya mengandung <50 ppm NaCl.

2.3 Uraian Proses Terpilih

Adapun proses pembuatan NaOH dengan metode elektrolisis sel membran adalah sebagai berikut :

1. Proses *Brine Purification*

Bahan baku garam yang telah didisipkan masuk kedalam tangka pelarut (F-122), larutan garam tersebut kemudian dipompa menuju sebuah reactor (R-120) untuk direaksikan dengan *sodium carbonat* dari sodium hidroksida, dimana proses berlangsung pada suhu 0-55 °C, untuk mengendapkan kalsium karbonat dan magnesium hidroksida dengan reaksi sebagai berikut :



Jumlah penambahan sodium karbinat dalam reactor adalah 1:1 dengan brine solution yang masuk kedalam reaktor. Sedangkan untuk jumlah sodium hidroksida yang ditambahkan kedalam reaktor adalah 2:1 dengan brine solution yang masuk.

Endapan yang terbentuk keluar dari reaktor dan mengalami kenaikan suhu antara 55-60°C. kemudian endapan akan dihilangkan sebagai slurry (lumpur), dimana pengendapan dilakukan pada *clarifier*. Larutan garam tersebut kemudian dipompa untuk proses filtrasi pada sand filter dan *plate and frame filter*. Kemudian larutan garam dipanaskan terlebih dahulu dengan *heater* sebelum manuju ke kation exchanger agar kondisi operasi sesuai yaitu pada suhu 60-70°C dan dilanjutkan dengan



anion exchanger, tujuannya adalah memperkecil konsentrasi pengotor menjadi ppb (*part per billion*).

Berikut merupakan standar jumlah impurities yang diperbolehkan untuk masuk kedalam proses membrane elektrolisis:

Tabel 2.1 Standar Jumlah Impurities untuk Brine Solution

Impurities	Unit	Upper Limit
Ca + Mg	Ppb	20
Cr	Ppm	1
Cu	Ppm	0,01
Ba	Ppm	0,5
Mn	Ppm	0,1
Fe	Ppm	1
Ni	Ppm	0,01
<i>Heavy Metals</i>	Ppm	0,1
Al	Ppm	0,1
SO ₄	gr/L	6
ClO ₃	gr/L	20

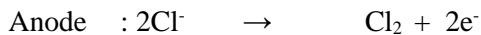
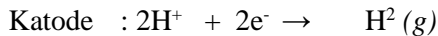
2. Proses *Brine Electrolysis*

Setelah melalui proses penukaran ion di kation exchanger dan anion exchanger selanjutnya larutan garam “*brine solution*” ditampung pada tangki untuk menyesuaikan pH nya menjadi asam 3-4. Selanjutnya larutan garam dipompa menuju ke membrane electrolyzer, proses ini berlangsung pada suhu 80-95 °C. pada membrane electrolyzer digunakan bilayer membrane yang terdiri dari perfluorocarboxylic dan perfluorosulfonic acid untuk memisahkan antara katoda dan anoda. Larutan garam sodium klorida jenuh yang



mengandung ion-ion Na^+ dan Cl^- dialirkan melalui sel tersebut. Pada anoda, ion-ion klorida dalam larutan garam mengalami oksidasi menjadi klorin (Cl_2), sedangkan pada katoda ion-ion hydrogen dalam air mengalami reduksi menjadi gas hydrogen (H_2). Cell voltage pada elektrolisa ini yaitu 2,5-4 volt dengan current density 1-3 ampere/in².

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Selanjutnya, ion-ion sodium (Na^+) yang berpindah dari anoda ke katoda bereaksi dengan ion-ion hidroksida (OH^-) menghasilkan soda api (NaOH) dengan konsentrasi 32-35%. Untuk mencapai konsentrasi soda api 50%, larutan kaustik yang diproduksi harus dipekatan dengan penguapan.

3. Proses Evaporasi

Pada proses evaporasi ini konsentrasi NaOH diharapkan mencapai 50% yang dengan menggunakan triple effect evaporator dengan suhu masuk larutan garam adalah 90 °C. selanjutnya liquid caustic soda 50% ini didinginkan menggunakan cooler hingga suhu 45 °C dan akan disimpan pada tangka penyimpanan

4. Proses *Preconcentration* dan *Prilling*

Pada proses preconcentration, NaOH 50% dipekatan menjadi 97-98,5% yang dinamakan sebagai NaOH anhidrat. Produk 97-98,5% dibuat dalam dua langkah penguapan. Yang pertama resirkulasi konvensional pada *falling film concentrator* yang beroperasi di bawah vakum. Tekanan biasanya sekitar 55 torr (6,9 kPa). Konsentrasi outlet adalah 60-63%. Cairan ini lanjutkan ke konsentrator akhir, yang juga merupakan unit *falling-film*,



beroperasi pada tekanan atmosfer dan dipanaskan dengan garam cair. Garam adalah campuran sodium dan kalium nitrit dan nitrat pada suhu 425-450 °C. Garam disirkulasikan melalui *fired heater* untuk menjaga suhunya. Bahan bakar mulai dari hidrogen hingga bahan bakar minyak.

Evaporator pertama dipanaskan dengan uap yang dihasilkan pada bagian kedua. Umpan masuk cair dipanaskan dengan pertukaran uap evaporator dan ditambahkan ke jalur resirkulasi evaporator yang pertama. Larutan gula (sukrosa) dalam NaOH encer juga ditambahkan untuk mengurangi klorat dan mencegah korosi evaporator nikel. Komposisi larutannya biasanya adalah 10-20% gula dan 1-3% NaOH. Produk penguapan atmosfer (sampai 98,5% NaOH) dibuat menjadi *prills* bukan serpih.

(O'Brien, 1934).

Produk diumpankan ke *flash evaporator* yang beroperasi sebagai pompa gaslift. NaOH cair dinaikkan dengan vakum ke dalam pipa riser yang dipanaskan, menyebabkan sisanya air menguap. Gelembung naik dan meleleh ke titik tertinggi dari sistem, di mana uap dipompa keluar. NaOH yang hampir anhidrat meleleh melewati pipa *downcomer* ke *holding vessel* (harus dipanaskan untuk mencegah kristalisasi) (Fritz Ullmann, 2005).

Prills diproduksi dengan menyemprotkan cairan NaOH pada suhu 360 °C untuk membentuk tetesan. Peralatan semprot yang digunakan bisa berupa nozel, atau disk berputar atau *basket*. Yang terbagi halus meleleh membentuk bola dengan diameter yang cukup seragam

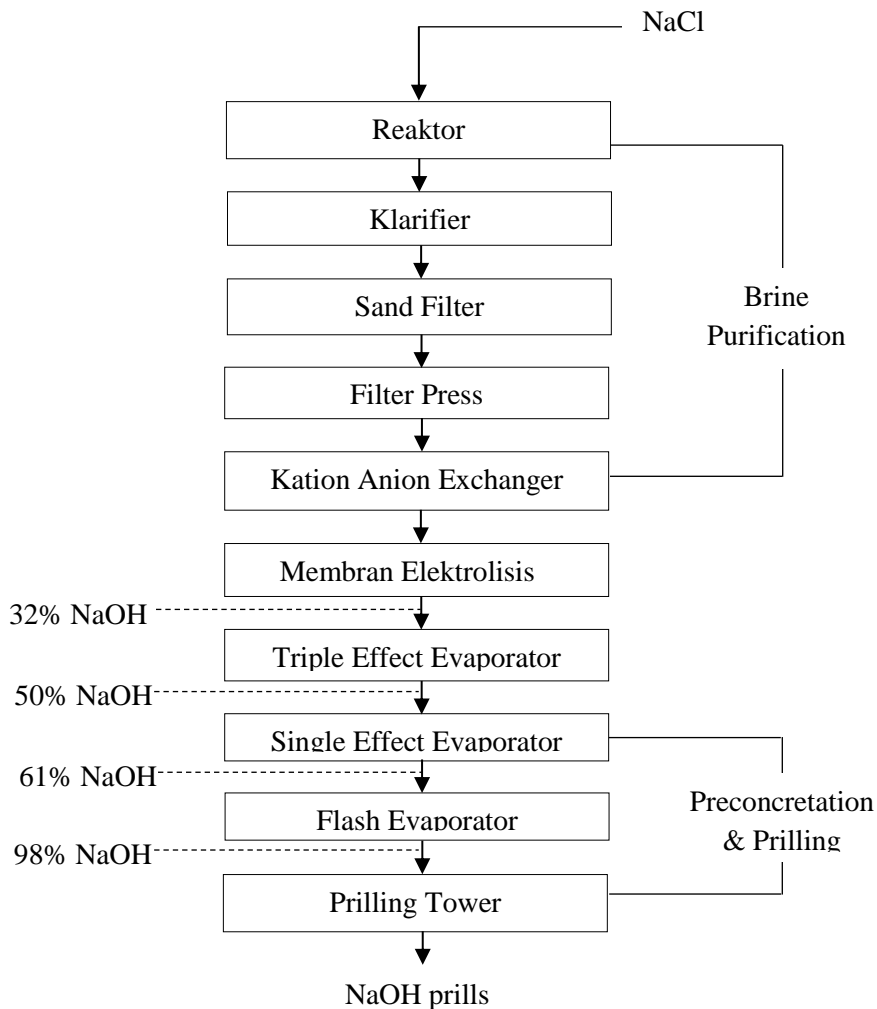


BAB II Macam dan Uraian Proses

karena tegangan permukaan. Ini didinginkan sampai suhu 250 °C saat jatuh dari poros udara mengalir ke atas. *Prills* dikumpulkan dalam corong yang mana bertemu dengan drum pendinginan dan didinginkan sampai suhu 50 °C. Setelah itu produk disimpan dalam silo. Tidak seperti serpih, *prills* bebas mengalir. Mereka tidak mudah melekat dan dengan demikian bisa disimpan dalam silo, diangkut dalam kontainer atau kapal besar, atau dipindahkan oleh udara terkompresi, karena mereka hampir bebas debu (*Fritz Ullmann, 2005*).



2.4 Blok Diagram Proses





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

NERACA MASSA

Pra-Rancangan Pabrik Pembuatan Natrium Hidroksida dari garam Natrium Klorida untuk kapasitas produksi sebesar 37000 ton/tahun dibutuhkan garam NaCl sebanyak 23968,9 kg/jam, dengan ketentuan sebagai berikut:

Kapasitas = 37000 ton/tahun
 = 112 ton/hari
 = 4672 kg/jam
 Operasi = 330 hari
 Basis Waktu = 1 hari
 Bahan Baku = NaCl
 Satuan Massa = kg/jam

Tabel 3.1 Komponen NaCl Masuk

Kandungan	Jumlah	Bahan Baku	Total
NaCl	99,7 % wt	23968,9 kg	23877,1113 kg
Air	0,3 % wt	23969,9 kg	71,9067 kg
Ca	400,0 ppm	23970,9 kg	4,4182 kg
Mg	200,0 ppm	23971,9 kg	2,2091 kg
SO4	1200,0 ppm	23972,9 kg	13,2547 kg

(Sedivy, 2009).

3.1 Bin (F-110)

Tabel 3.2 Neraca Massa Bin

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
NaCl	19285,6618 kg	NaCl	19285,6618 kg



BAB III Neraca Massa

Air	58,0794 kg	Air	58,0794 kg
Ca	3,5686 kg	Ca	3,5686 kg
Mg	1,7843 kg	Mg	1,7843 kg
SO ₄	10,7059 kg	SO ₄	10,7059 kg
Total	19359,8000 kg	Total	19359,8000 kg

3.2 Tangki Pelarut (F-112)

Tabel 3.3 Neraca Massa Tangki Pelarut

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<1>		<2>	
NaCl	19285,6618 kg	NaCl	19285,6618 kg
Air	58,0794 kg	Air	54889,9605 kg
Ca	3,5686 kg	Ca	3,5686 kg
Mg	1,7843 kg	Mg	1,7843 kg
SO ₄	10,7059 kg	SO ₄	10,7059 kg
	19359,8 kg		
<19>	kg		
Air	54831,8811 kg		
	54831,8811 kg		
Total	74191,6811 kg	Total	74191,6811 kg

3.3 Reaktor (R-210)

Tabel 3.4 Neraca Massa Reaktor

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<2>		<3>	
NaCl	19285,6618 kg	NaCl	19285,6618 kg



BAB III Neraca Massa

Air	54889,9605 kg	Air	54903,5175 kg
Ca	3,5686 kg	Ca	3,1520 kg
Mg	1,7843 kg	Mg	1,5336 kg
SO4	10,7059 kg	SO4	8,7072 kg
	74191,6811 kg	Impuritis	3,1057 kg
<20>		Reagen	1,0783 kg
Na2CO3	1,1020 kg		
Air	12,673 kg		
	13,775 kg		
<21>			
NaOH	0,4160 kg		
Air	0,8840 kg		
	1,3000 kg		
Total	74206,7561 kg	Total	74206,7561 kg

3.4 Klarifier (H-212)

Tabel 3.5 Neraca Massa Klarifier

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<3>		<23>	
NaCl	19285,6618 kg	Impuritis	0,6211 kg
Air	54903,5175 kg		0,6211 kg
Ca	3,1520 kg	<4>	
Mg	1,5336 kg	NaCl	19285,6618 kg
SO4	8,7072 kg	Air	54903,5175 kg
Impuritis	3,1057 kg	Ca	3,1520 kg
Reagen	1,0783 kg	Mg	1,5336 kg
	74206,7561 kg	SO4	8,7072 kg



BAB III Neraca Massa

		Impuritis	2,4846 kg
		Reagen	1,0783 kg
			74206,135 kg
Total	74206,7561 kg	Total	74206,7561 kg

3.5 Sand Filter (H-214)

Tabel 3.6 Neraca Massa Sand Filter

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<4>		<24>	
NaCl	19285,6618 kg	Impuritis	1,6564 kg
Air	54903,5175 kg		1,6564 kg
Ca	3,1520 kg	<5>	
Mg	1,5336 kg	NaCl	19285,6618 kg
SO ₄	8,7072 kg	Air	54903,5175 kg
Impuritis	2,4846 kg	Ca	3,1520 kg
Reagen	1,0783 kg	Mg	1,5336 kg
	74206,1350 kg	SO ₄	8,7072 kg
		Impuritis	0,8282 kg
		Reagen	1,0783 kg
			74204,4786 kg
Total	74206,1350 kg	Total	74206,1350 kg

3.6 Filter Press (H-216)

Tabel 3.7 Neraca Massa Sand Filter

Masuk	Keluar
-------	--------

Pabrik Natrium Hidroksida dari Garam
NaCl dengan Proses Elektrolisis
Sel Membran

Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi



Komponen	Total	Komponen	Total
<5>		<26>	
NaCl	19285,6618 kg	Cake	
Air	54903,5175 kg	Cake	193,6020 kg
Ca	3,1520 kg	Air	96,8010 kg
Mg	1,5336 kg	Liquid	
SO ₄	8,7072 kg	Waste	
Impuritis	0,8282 kg	NaCl	192,8566 kg
Reagen	1,0783 kg	Air	1001,8851 kg
	74204,4786 kg		1485,1447 kg
		<6>	
		NaCl	18899,9486 kg
		Air	53804,8314 kg
		Ca	3,1520 kg
		Mg	1,5336 kg
		SO ₄	8,7072 kg
		Impuritis	0,0828 kg
		Reagen	1,0783 kg
			72719,3339 kg
Total	74204,4786 kg	Total	74204,4786 kg

3.7 Kation Exchanger (D-220)

Tabel 3.8 Neraca Massa Kation Exchanger

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<6>			
NaCl	18899,9486 kg	Kation	4,6848 kg



BAB III Neraca Massa

Air	53804,8314 kg		4,6848 kg
Ca	3,152 kg	<7>	
Mg	1,5336 kg	NaCl	18899,9486 kg
SO ₄	8,7072 kg	Air	53804,8314 kg
Impuritis	0,0828 kg	Ca	0,0008 kg
Reagen	1,0783 kg	Na+	6,5642 kg
Resin Na	33940,2269 kg	Impuritus	0,0828 kg
	106659,5608 kg	Reagen	1,0783 kg
		Resin Na	33933,6627 kg
		SO ₄	8,7072 kg
			106654,876 kg
Total	106659,5608 kg	Total	106659,5608 kg

3.8 Anion Exchanger (D-230)

Tabel 3.9 Neraca Massa Anion Exchanger

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<7>			
NaCl	18899,9486 kg	Anion	8,3419 kg
Air	53804,8314 kg		8,3419 kg
Ca	0,0008 kg	<8>	
Na	6,5642 kg	NaCl	18910,1159 kg
Impuritis	0,0828 kg	Air	53804,8314 kg
Reagen	1,0783 kg	Ca	0,0008 kg
SO ₄	8,7072 kg	Na	2,5668 kg
Resin Cl	69937,0057 kg	Impuritus	0,0828 kg
	142658,2190 kg	Reagen	1,0783 kg



		SO4	0,3653 kg
		Resin Cl	69930,8358 kg
			142649,8771 kg
Total	142658,2190 kg	Total	142658,2190 kg

3.9 Tangki Penampung (F-232)

Tabel 3.10 Neraca Massa Tangki Pelarut

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<8>		<9>	
NaCl	18910,1159 kg	NaCl	18913,7546 kg
Air	53804,8314 kg	Air	53804,8314 kg
Ca	0,0008 kg	Na	1,1362 kg
Na	2,5668 kg	SO4	0,3653 kg
Impuritus	0,0828 kg	Ca	0,0008 kg
Reagen	1,0783 kg	Impuritis	0,0828 kg
SO4	0,3653 kg	Reagen	1,0783 kg
	72719,0413 kg	H+	0,0622 kg
<27>			72721,3116 kg
HCl	2,2703 kg		
	2,2703 kg		
Total	72721,3116 kg	Total	72721,3116 kg

3.10 Membran Sel (H-310)

Tabel 3.11 Neraca Massa Membran

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<9>			



BAB III Neraca Massa

NaCl	18913,7546 kg	NaCl	12220,8255 kg
Air	53804,8314 kg	Air	38699,2808 kg
Na	1,1362 kg	SO ₄	0,3653 kg
SO ₄	0,3653 kg	Ca	0,0008 kg
Ca	0,0008 kg	Impuritis	0,0828 kg
Impuritis	0,0828 kg	Reagen	1,0783 kg
Reagen	1,0783 kg		50921,6335 kg
H ⁺	0,0622 kg		
	72721,3116 kg	<12>	kg
<11>		NaOH	4578,336 kg
H ₂ O	2023,992 kg	Air	9728,964 kg
	2023,992 kg		14307,3 kg
		<10>	
		Cl ₂	7214,0651 kg
		H ₂	4,0288 kg
		Air	2298,2762 kg
			9516,3701 kg
			kg
Total	74745,3036 kg	Total	74745,3036 kg

3.11 Evaporator Efek I (V-410)

Tabel 3.12 Neraca Massa Evaporator Efek I

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<12>		<13>	
Air	9728,9640 kg	Air	8012,0880 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
	14307,3000 kg		12590,4240 kg



		Vapor	1716,8760 kg
			1716,8760 kg
Total	14307,3000 kg	Total	14307,3000 kg

3.12 Evaporator Efek II (V-420)

Tabel 3.13 Neraca Massa Evaporator Efek II

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<13>		<14>	
Air	8012,0880 kg	Air	6295,2120 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
	12590,4240 kg		10873,5480 kg
		Vapor	1716,8760 kg
			1716,8760 kg
Total	12590,4240 kg	Total	12590,4240 kg

3.13 Evaporator Efek III (V-420)

Tabel 3.14 Neraca Massa Evaporator Efek III

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<14>		<15>	
Air	6295,2120 kg	Air	4578,3360 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
	10873,5480 kg		9156,6720 kg
		Vapor	1716,8760 kg



BAB III Neraca Massa

Total			1716,8760 kg
	10873,5480 kg	Total	10873,5480 kg

3.14 Single Effect Evaporator (V-510)

Tabel 3.15 Neraca Massa Single Effect Evaporator

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<16>		<17>	
Air	4578,3360 kg	Air	2927,13290 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
Total	9156,6720 kg		7505,46890 kg
		Vapor	1651,20310 kg
			1651,20310 kg
Total	9156,6720 kg	Total	9156,6720 kg

3.15 Flash Evaporator (V-520)

Tabel 3.16 Neraca Massa Single Effect Evaporator

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<16>		<17>	
Air	2927,1329 kg	Air	93,4354 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
Total	7505,4689 kg		4671,7714 kg
		blabla	
		Vapor	2833,6975 kg
			2833,6975 kg
Total	7505,4689 kg	Total	7505,4689 kg

**3.16 Prilling Tower (D-610)****Tabel 3.17** Neraca Massa Prilling Tower

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
Air	93,4354 kg	Air	93,4354 kg
NaOH	4578,3360 kg	NaOH	4578,3360 kg
Total	4671,7714 kg	Total	4671,7714 kg



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

NERACA PANAS

Kapasitas : 37.000 ton/tahun
 Waktu Operasi : 330 hari /tahun, 24 hari jam/hari
 Basis Waktu : 1 hari
 Satuan Panas : kkal
 Suhu Refrensi : 25 °C

4.1 Reaktor

Table 4.1 Neraca Panas Reaktor

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	293885.5815	ΔH output	284766.0803
Qsuplly	18368.89797	Qloss	918.4489
		ΔH Rx	26569.9543
Total	312254.4795	Total	312254.4795

4.2 Heat Exchanger

Table 4.2 Neraca Panas HE

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	10384573.82	ΔH output	44548955.67
Qsuplly	35962507.22	Qloss	1798125.361
Total	46347081	Total	46347081

4.3 Membrane Cell

Table 4.3 Neraca Panas Membrane Cell

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	44488865.82	ΔH output	3177248.011
Qsuplly	186520730.4	Qloss	314513758.7
Arus	103349282	ΔH Rx	9326036.521



Total	334358878.2	Total	334358878.2
--------------	--------------------	--------------	--------------------

4.4 Evaporator Efek 1

Table 4.4 Neraca Panas Evaporator

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	760580.578	ΔH produk	354425,93
ΔH steam	1118821.422	ΔH vapor	8575092,7
Total	1879402	Total	1879402

4.5 Evaporator Efek 2

Table 4.5 Neraca Panas Evaporator

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	354072,501	ΔH produk	133150,2
ΔH steam	1099894,251	ΔH vapor	9631849,6
Total	1453967	Total	1453967

4.6 Evaporator Efek 3

Table 4.6 Neraca Panas Evaporator

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	133017,9892	ΔH produk	148026,88
ΔH steam	1165224,221	ΔH vapor	9005337,8
Total	1298242	Total	1298242

4.7 Cooler

Table 4.7 Neraca Panas Cooler

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	340345.55	ΔH produk	133468.84
		Qserap	206876.7
Total	3403466	Total	3403466



4.8 Barometric Kondensor

Table 4.8 Neraca Panas Barometric Kondensor

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	1287122.808	ΔH produk	1287122.808
Total	1287122.808	Total	1287122.808

4.9 Heat Exchanger

Table 4.9 Neraca Panas HE

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	23104.6335	ΔH output	64700.36148
Qsupply	43782.102	Qloss	2189.105129
Total	66887	Total	66887

4.10 Single Effect Evaporator

Table 4.10 Neraca Panas Evaporator

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	39501817.16	ΔH produk	223793.5825
ΔH steam	1058740.964	ΔH vapor	8575092.696
Total	40560558	Total	40560558

4.11 Flash Evaporator

Table 4.11 Neraca Panas Evaporator

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	155876.492	ΔH produk	11011.39326
ΔH steam	1058740.96	ΔH vapor	8575092
Total	1214617	Total	1214617

**4.12 Furnace****Table 4.12**Neraca Panas Furnace

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH Feed	23104.6335	ΔH produk	64700.36148
ΔH steam	43782.1026	Qloss	2189.1051
Total	66886.74	Total	66886.74

BAB V

SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas : 37.000 ton/tahun

Waktu Operasi : 330 hari/tahun

Basis Waktu : 1 hari

Satuan Panas : kkal

5.1 Bin

Fungsi = Menyimpan bahan baku NaCl

Jumlah = 1

Bentuk = Silinder tegak dengan alas berbentuk konis
dan tutup datar

Kapasitas = 700 ft²

Kondisi Operasi, T = 30 °C

P = 1 atm

Bahan Konstruksi = *Stainless Steel 316*

Tinggi Bin = 16 ft

Course 1 = 0,04 in

Course 2 = 0,02 in

Tebal tutup Konis = 3/16 in

Tebal tutup Datar = 0,81 in

5.2 Bucket Elevator

Fungsi = memindahkan NaCl dari bin ke tangki pelarut

Tipe = *Continous Discharge Bucket Elevator*

Kapasitas maksimum = 14 ton

Ukuran = 6 in x 4 in x 4 1/4 in

Bucket Spacing = 91.6 ft/menit

Putaran Head shaft = 17,507 rpm

Lebar Belt = 7 in



BAB V Spesifikasi Alat

Power total = 4 hp
 Jumlah = 1 buah

5.3 Tangki Pelarut

Nama alat = *Mixing Tank*
 Fungsi = Melarutkan NaCl dengan penambahan air proses
 Bentuk = Silinder dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard dished head
 Bahan konstruksi = *Stainless steel, type 316, grade M (SA-240)*
 Pengelasan = *Double welded butt joint*
 Jumlah = 2 buah
 P desain = 22,845 psi
 Diameter dalam tangki = ID = 143,5 in = 11,96 ft
 Diameter luar tangki = OD = 144,0 in = 12,00 ft
 Tinggi lar. dalam silinder = LLs = 163,2 in = 13,60 ft
 Tinggi lar. dalam tangki = LLtotal = 187,6 in = 15,63 ft
 Tinggi silinder = LS = 216,0 in = 18,00 ft
 Tinggi tutup atas = Lha = 24,34 in = 2,028 ft
 Tinggi tutup bawah = Lhb = 24,34 in = 2,028 ft
 Tinggi tangki = LT = 270,7 in = 22,56 ft
 Tebal Silinder = ts = 0,0064 in = 0,00053 ft
 Tebal tutup atas = tsa = 0,25 in = 0,02083 ft
 Tebal tutup bawah = tsb = 0,30 in = 0,20833 ft

Pengaduk

Tipe = *Flat six blade turbine with disk*
 Jumlah = 1 buah
 Power = 50 hp
 Diameter Pengaduk = Da = 1,09728 m = 3,6 ft
 Panjang Pengaduk = La = 0,27432 m = 0,9 ft
 Lebar Pengaduk = W = 0,21946 m = 0,72 ft



Jarak dari dasar = C = 1,2192 m = 4 ft

Kecepatan putaran = N = 1,5 rpm

5.4 Reaktor

Nama alat = Reaktor

Fungsi = Mereaksikan pengotor-pengotor yang ada di dalam *feed* dengan penambahan NaOH dan Na_2CO_3

Bentuk = Silinder dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard dished head

Bahan konstruksi = *Stainless steel, type 316, grade M (SA-240)*

Pengelasan = *Double welded butt joint*

Jumlah = 1 buah

P desain = 18,655psi

Diameter dalam tangki = ID = 47,63 in = 3,969 ft

Diameter luar tangki = OD = 48,00 in = 4,000 ft

Tinggi lar. dalam silinder = LLs = 73,40 in = 6,116 ft

Tinggi lar. dalam tangki = LLtotal = 81,51 in = 6,792 ft

Tinggi silinder = LS = 8,112 in = 0,676 ft

Tinggi tutup atas = Lha = 7,382 in = 0,615 ft

Tinggi tutup bawah = Lhb = 7,382 in = 0,615 ft

Tinggi tangki = LT = 92,22 in = 7,685 ft

Tebal Silinder = ts = 0,1875 in = 0,0156 ft

Tebal tutup atas = tsa = 0,1875 in = 0,0156 ft

Tebal tutup bawah = tsb = 0,1875 in = 0,0156 ft

5.5 Klarifier

Nama alat = *Clarifier*

Fungsi = Tempat terjadinya pemisahan antara *brine sollution* dengan berbagai macam impurities yang membentuk flok



BAB V Spesifikasi Alat

Bentuk	=	Silinder dengan tutup atas berbentuk standard dished head dan tutup bawah berbentuk conical 120°
Bahan konstruksi	=	<i>Stainless steel, type 316, grade M (SA-240)</i>
Pengelasan	=	<i>Double welded butt joint</i>
Jumlah	=	1 buah
P desain	=	22,703 psi
Diameter dalam tangki	= ID	= 227,4 in = 18,95 ft
Diameter luar tangki	= OD	= 228,0 in = 19,00 ft
Tinggi lar. dalam silinder	= LLs	= 118,1 in = 9,836 ft
Tinggi lar. dalam tangki	= LLtotal	= 183,9 in = 15,32 ft
Tinggi silinder	= LS	= 171,0 in = 14,25 ft
Tinggi tutup atas	= Lha	= 38,53 in = 3,211 ft
Tinggi tutup bawah	= Lhb	= 65,82 in = 5,485 ft
Tinggi tangki	= LT	= 281,4 in = 23,45 ft
Tebal Silinder	= ts	= 0,3125 in = 0,026ft
Tebal tutup atas	= tsa	= 0,25 in = 0,02083 ft
Tebal tutup bawah	= tsb	= 0,50 in = 0,04170 ft

Pengaduk

Tipe	=	<i>Flat six blade turbine with disk</i>
Jumlah	=	1 buah
Power	=	15 hp
Diameter Pengaduk	= Da	= 1,73736 m = 5,700 ft
Panjang Pengaduk	= La	= 0,43434 m = 1,425 ft
Lebar Pengaduk	= W	= 0,34747 m = 1,140 ft
Jarak dari dasar	= C	= 1,7374 m = 5,7 ft
Kecepatan putaran	= N	= 25 rpm

5.6 Sand Filter

Fungsi	=	Menyaring kotoran-kotoran yang masih terbawa dari clarifier
--------	---	---



Tipe	=	<i>Silinder Vertikal dengan media penyaring pasir dan kerikil</i>
Kapasitas	=	4,3717 m ³ /jam
Luas Penampang	=	6 in x 4 in x 4 1/4 in
Bucket Spacing	=	0,34957 m ²
Tinggi Sand Filter	=	16,998
Tekanan Total	=	7,074 psi

5.7 Filter Press

Fungsi	=	Memisahkan impurities dari tangki karbonasi
Bentuk	=	<i>a horisontal palte and Frame Filetr Press</i>
Jumlah	=	1 buah
Luas filter	=	33,44523 m ²
Jumlah Plate	=	39 buah
Jumlah Frame	=	40 buah
Tebal Plate and Frame	=	1,25 in
Waktu total per siklus	=	2,5 jam

5.8 Kation Exchanger

Nama alat	=	Kation Exchanger
Fungsi	=	Menghilangkan kation pengotor
Bentuk	=	Silinder dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard dished head
Bahan konstruksi	=	<i>Stainless steel, type 303, grade 3 (SA-167)</i>
Pengelasan	=	<i>Double welded butt joint</i>
Jumlah	=	1 buah
P desain	=	4,1154 psi
Diameter dalam tangki	= ID	= 0,885 in = 0,073 ft
Diameter luar tangki	= OD	= 36,00 in = 3,000 ft
Tinggi lar. dalam silinder	= LLs	= 944,9 in = 78,74 ft
Tinggi lar. dalam tangki	= LLtotal	= 342,0 in = 28,50 ft



BAB V Spesifikasi Alat

Tinggi silinder	= LS	= 342,0 in = 28,50 ft
Tinggi tutup atas	= Lha	= 38,53 in = 3,211 ft
Tinggi tutup bawah	= Lhb	= 38,53 in = 3,211 ft
Tinggi tangki	= LT	= 4,000 in = 0,333 ft
Tebal Silinder	= ts	= 0,01 in = 0,00083 ft
Tebal tutup atas	= tsa	= 0,8175 in = 0,0681 ft
Tebal tutup bawah	= tsb	= 0,8175 in = 0,0681 ft

5.9 Anion Exchanger

Nama alat	=	Anion Exchanger
Fungsi	=	Menghilangkan anion pengotor
Bentuk	=	Silinder dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard dished head
Bahan konstruksi	=	<i>Stainless steel, type 303, grade 3 (SA-167)</i>
Pengelasan	=	<i>Double welded butt joint</i>
Jumlah	=	1 buah
P desain	=	1,1283 psi
Diameter dalam tangki	= ID	= 67,84 in = 5,653 ft
Diameter luar tangki	= OD	= 72,00 in = 6,000 ft
Tinggi lar. dalam silinder	= LLs	= 944,9 in = 78,74 ft
Tinggi lar. dalam tangki	= LLtotal	= 944,9 in = 78,74 ft
Tinggi silinder	= LS	= 342,0 in = 28,50 ft
Tinggi tutup atas	= Lha	= 38,53 in = 3,211 ft
Tinggi tutup bawah	= Lhb	= 38,53 in = 3,211 ft
Tinggi tangki	= LT	= 4,000 in = 0,333 ft
Tebal Silinder	= ts	= 0,01 in = 0,00083 ft
Tebal tutup atas	= tsa	= 0,8175 in = 0,0681 ft
Tebal tutup bawah	= tsb	= 0,8175 in = 0,0681 ft

5.10 Tangki Asidifikasi

Nama alat	=	Tangki Asidifikasi
-----------	---	--------------------

*Pabrik Sodium Hidroksida dari Garam
NaCl dengan Proses Elektrolisis
Sel Membran*

*Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi*



Fungsi	=	Menambahkan HCl hingga pH 3
Bentuk	=	Silinder dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard dished head
Bahan konstruksi	=	<i>Stainless steel, type 316, grade M (SA-240)</i>
Pengelasan	=	<i>Double welded butt joint</i>
Jumlah	=	1 buah
P desain	=	22,845 psi
Diameter dalam tangki	= ID	= 143,5 in = 11,96 ft
Diameter luar tangki	= OD	= 144,0 in = 12,00 ft
Tinggi lar. dalam silinder	= LLs	= 163,2 in = 13,60 ft
Tinggi lar. dalam tangki	= LLtotal	= 187,6 in = 15,63 ft
Tinggi silinder	= LS	= 216,0 in = 18,00 ft
Tinggi tutup atas	= Lha	= 24,34 in = 2,028 ft
Tinggi tutup bawah	= Lhb	= 24,34 in = 2,028 ft
Tinggi tangki	= LT	= 270,7 in = 22,56 ft
Tebal Silinder	= ts	= 0,0064 in = 0,00053 ft
Tebal tutup atas	= tsa	= 0,25 in = 0,02083 ft
Tebal tutup bawah	= tsb	= 0,25 in = 0,02083 ft

5.11 Membran Sel

Fungsi	=	Mengubah larutan NaCl menjadi NaOH
Bentuk	=	Bipolar

Dasar Pemilihan

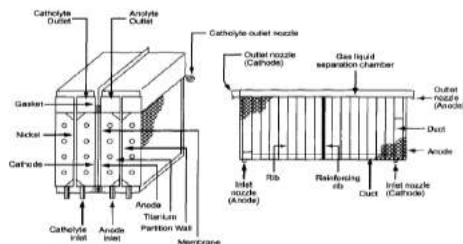


FIGURE 5.24. Schematic of Asahi Kasei's ML32NC and ML50NC cells. (With permission from Asahi Kasei Chemicals.)



BAB V Spesifikasi Alat

Tekanan Operasi	= 20 psia
Current Density	= 3 kAm ⁻²
Konsumsi Energi	= 2100 kW hr/ton

Outside Dimensions

Lenght	= 2,59 m
Height	= 1,32 m
Jarak tiap cell	= 15,2 m
Jumlah frame	= 180
Ketebalan pan	= >2,5
Ukuran elektroda	= 2,7 m ²

Gasket

Anoda	= gasket PTFE
Katoda	= gasket EPDM

5.12 Evaporator Efek 1

Fungsi	= Memekatkan larutan NaOH menjadi 36%
Tipe	= <i>Standard Vertical Tube Evaporator</i>
Dasar pemilihan	= <i>heat sensitive materials</i>
Diameter Centerwall	= 7,2 ft
Diameter Evaporator	= 7,2 ft
Tinggi Shell	= 14 ft
Tebal Shell	= 1 in
Tebal Tutup	= 4 in

Tube Calandria

Ukuran	= 1,5 in BWG 18
OD	= 1,50 ft
ID	= 0,12 ft
Panjang Tube	= 13
Jumlah Tube	= 41 buah
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-203 Grade C (21/2 Ni)</i>
Jumlah Evaporator	= 1 buah

**5.13 Evaporator Efek 2**

Fungsi = Memekatkan larutan NaOH menjadi 42%

Tipe = *Standard Vertical Tube Evaporator*

Dasar pemilihan = *heat sensitive materials*

Diameter Centerwall = 3,4 ft

Diameter Evaporator = 3,4 ft

Tinggi Shell = 6,7 ft

Tebal Shell = 1/5 in

Tebal Tutup = 1/2 in

Tube Calandria

Ukuran = 1,5 in BWG 18

OD = 1,50 ft

ID = 0,12 ft

Panjang Tube = 11

Jumlah Tube = 68 buah

Bahan Konstruksi = *Carbon Steel SA-203 Grade C (21/2 Ni)*

Jumlah Evaporator = 1 buah

5.14 Evaporator Efek 3

Fungsi = Memekatkan larutan NaOH menjadi 50%

Tipe = *Standard Vertical Tube Evaporator*

Dasar pemilihan = *heat sensitive materials*

Diameter Centerwall = 1,2 ft

Diameter Evaporator = 1,2 ft

Tinggi Shell = 2,4

Tebal Shell = 0,1 in

Tebal Tutup = 1/2 in

Tube Calandria

Ukuran = 1,5 in BWG 18

OD = 1,50 ft

ID = 0,12 ft



BAB V Spesifikasi Alat

Panjang Tube	= 12 ft
Jumlah Tube	= 9
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-203 Grade C (21/2 Ni)</i>
Jumlah Evaporator	= 1 buah

5.15 Barometrik Kondensor

Fungsi	= Mengkondensasikan uap dari evaporator
Tipe	= <i>Counter-current dry air condensor</i>
Jumlah	= 1 buah
Bahan	= <i>Carbon Steel SA-283 grade B</i>
Rate Bahan	= 14285,5 kg uap/jam
Luas Penampang Kondensor	= 24,29 ft ²
Diameter kondesor	= 66,79 in
Jumlah air pendingin	= 1190,5 kg air pendingin/jam
Kevakuman maksimum	= 149,8 mmHg
Diameter kolom barometrik	= 2,0 ft
Batas keamanan	= 2 ft
Tinggi kolom barometrik	= 11,22 ft

5.16 Steam Jet Ejector

Fungsi	= Untuk memberikan kondisi vakum dan menarik uap impurities dari Vacuum Dryer
Tipe	= Steam Jet Ejector
Kapasitas	= 0,01 lb/jam
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel</i>
Diameter	= 0,014 in
Jumlah	= 1 buah

5.17 Pompa

Tipe	= <i>Centrifugal Pump</i>
Bahan Konstruksi	= <i>Commercial Steel</i>



Kapasitas	= 106654,88 kg/jam
Daya Pompa	= 38,9 hp
Jumlah	= 1 buah

5.18 Single Effect Evaporator

Fungsi	= Memekatkan larutan NaOH menjadi 61%
Tipe	= <i>Standard Vertical Tube Evaporator</i>
Dasar pemilihan	= <i>heat sensitive materials</i>
Diameter Centerwall	= 44,6 ft
Diameter Evaporator	= 44,6 ft
Tinggi Shell	= 89,2 ft
Tebal Shell	= 3/5 in
Tebal Tutup	= 2 in

Tube Calandria

Ukuran	= 1 in sch. Standard 40 IPS
OD	= 0,40 ft
ID	= 0,12 ft
Panjang Tube	= 12 ft
Jumlah Tube	= 177
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-203 Grade C (21/2 Ni)</i>
Jumlah Evaporator	= 1 buah

5.19 Flash Evaporator

Fungsi	= Memekatkan larutan NaOH menjadi 98%
Tipe	= <i>Standard Vertical Tube Evaporator</i>
Dasar pemilihan	= <i>heat sensitive materials</i>
Diameter Centerwall	= 4,5 ft
Diameter Evaporator	= 4,5 ft
Tinggi Shell	= 9 ft
Tebal Shell	= 1/2 in
Tebal Tutup	= 1 in

*BAB V Spesifikasi Alat*

Tube Calandria

Ukuran	= 1 in sch. Standard 40 IPS
OD	= 0,38 ft
ID	= 0,34 ft
Panjang Tube	= 12 ft
Jumlah Tube	= 180
Bahan Konstruksi	= <i>Carbon Steel SA-203 Grade C (21/2 Ni)</i>
Jumlah Evaporator	= 1 buah

BAB VI

UTILITAS

Utilitas merupakan bagian penting dari proses industri yang membantu menunjang keberlangsungan proses produksi. Utilitas membantu memenuhi segala kebutuhan pada proses produksi agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran memiliki sarana utilitas antara lain:

1. Air

Kebutuhan air pada pabrik kaustik soda ini bersumber dari air sungai yang terlebih dahulu dilakukan treatment atau pengolahan. Air ini digunakan untuk air pendingin, untuk menghasilkan steam dari unit boiler, untuk air proses, dan untuk keperluan sanitasi.

2. *Steam*

Steam yang dihasilkan berasal dari unit boiler dan digunakan untuk berbagai proses produksi pada pabrik kaustik soda, antara lain:

- Reaktor, sebagai media pemanas untuk mempertahankan suhu sehingga dapat berjalan dengan proses yang optimum.
- *Heater*, sebagai media pemanas
- Evaporator, sebagai media pemanas untuk menguapkan air yang terkandung dalam produk sehingga dihasilkan produk yang sesuai dengan keinginan.
- *Steam jet ejector*, sebagai media untuk memvakumkan evaporator.

3. Bahan bakar

Bahan bakar digunakan pada proses produksi kaustik soda dari garam NaCl pada unit unit boiler dan pada unit



penghasil listrik. Bahan bakar yang digunakan pada unit boiler adalah bahan bakar minyak.

4. Listrik

Kebutuhan listrik pabrik bersumber dari PT.PLN Persero dan juga dengan generator. Listrik pada pabrik kaustik soda dari garam NaCl digunakan untuk proses elektrolisis, untuk penerangan pabrik, dan untuk proses produksi sebagai tenaga penggerak beberapa peralatan seperti pompa dan tenaga penggerak pada peralatan proses kontrol.

6.1 Air

6.1.1 Unit Pengolahan Air Sungai

Sumber air pada pabrik kaustik soda dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah air sungai. Sebelum air sungai ini digunakan dalam proses operasi pabrik, air sungai terlebih dahulu diolah dengan menggunakan beberapa proses. Berikut adalah proses pengolahan air sungai:

1. Pengolahan secara fisika

Air dari sungai dipompa kemudian dilakukan penyaringan agar plastik dan kotoran-kotoran yang besar tidak ikut tersaring. Kemudian air yang dipompa dialirkan menuju tangki pengendap untuk mengendapkan partikel-partikel yang terikut masuk dengan air seperti pasir, partikel, lumpur, dan lain-lain. Selanjutnya air yang mengalami overflow dialirkan ke bak koagulator dan flokulator.

2. Pengolahan secara kimia

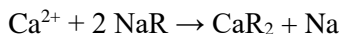
Pengolahan ini dilakukan untuk memisahkan pengotor yang ikut terlarut setelah pengendapan dengan cara penambahan koagulan. Pada bak koagulator ditambahkan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 50 ppm setiap 1 liter air sungai dan disertai dengan pengadukan cepat agar air dapat



bercampur dengan koagulan sehingga membentuk flok-flok kecil. Selanjutnya air sungai masuk ke dalam bak flokulator dan mengalami pengadukan lambat untuk membentuk flok-flok yang lebih besar. Setelah dari bak flokulator air kemudian dialirkan pada proses klarifier atau biasa disebut proses sedimentasi. Setelah proses klarifier air secara overflow akan dialirkan ke dalam sand filter untuk menyaring kontaminan yang belum terendapkan pada proses klarifier. Air bersih yang keluar dari sand filter kemudian ditampung pada tangki penampung.

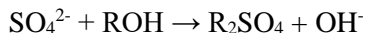
Untuk mendapatkan air sanitasi air bersih dari tangki penampung selanjutnya didistribusikan pada tangki air sanitasi untuk kemudian ditambahkan desinfektan (kaporit/ $\text{Ca}(\text{OCl})_2$) untuk membunuh organisme penyebab penyakit, bakteri, jamur, dan protozoa-protozoa. Air sanitasi kemudian dipompa untuk keperluan seperti mencuci, menyiram taman, dan sebagainya.

Air bersih yang berasal dari tangki penampung masih mengandung anion dan kation yang sebagian merupakan penyebab dari sadahnya suatu air. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan menggunakan *kation* dan *anion exchanger* untuk mengurangi ion penyebab kesadahan. Sehingga air bersih yang telah berkurang kesadahannya dapat digunakan sebagai air pendingin, umpan air boiler, dan air proses. Untuk mengurangi kesadahan air bersih dilakukan proses pertukaran ion. Air bersih dari tangki penampung kemudian dialirkan menuju *kation exchanger*, dimana ion-ion positif yang dapat menyebabkan kerak akan ditukar dengan ion Na yang terdapat pada resin. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada *kation exchanger*:





Air yang keluar dari kation exchanger selanjutnya dipompa menuju *anion exchanger*. Pada *anion exchanger* ion negatif pada air kemudian ditukarkan dengan ion negatif yang terdapat pada resin. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada *anion exchanger*:



Setelah proses pelunakan menggunakan anion exchanger dan kation exchanger, air demin dapat digunakan sebagai air cooling, air umpan boiler, dan air proses. Air demin dari anion exchanger selanjutnya didistribusikan dan ditampung pada tangki air umpan boiler, tangki air cooling, dan tangki air proses.

6.1.2 Penggunaan Air

Penggunaan air pada pabrik NaOH dari NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah untuk air sanitasi, air pendingin, umpan air boiler, dan air proses.

a. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan pada laboratorium, perkantoran, keperluan karyawan seperti untuk kamar mandi, dan keperluan lainnya. Air untuk sanitasi memiliki standar kualitas air bersih yaitu:

- FISIKA

Bau : Tidak berbau
 TDS : maks. 1000 mg/L
 Kekeruhan : maks. 5 NTU
 Rasa : Tidak berasa
 Suhu : maks. $\pm 3^\circ\text{C}$

- KIMIA

Besi : maks. 1,0 mg/L
 Mangan : maks. 0,5 mg/L



Timbal : maks. 0,05 mg/L

CaCO₃ : maks. 500 mg/L

Klorida : maks. 600 mg/L

pH : 6,5 – 8,5

- Untuk keperluan karyawan

Asumsi:

Jumlah karyawan = 300 orang

Kebutuhan air/orang = 150 kg/hari

Total kebutuhan air = 150 x 300
= 45.000 kg/hari

- Untuk laboratorium

Direncanakan kebutuhan air untuk laboratorium adalah 25% dari kebutuhan karyawan, sehingga kebutuhan air adalah:

$25\% \times 45000 \text{ kg/hari} = 11.250 \text{ kg/hari}$

- Total kebutuhan air sanitasi

$45000 + 11250 = 56.250 \text{ kg/hari}$

b. Air proses

Air proses adalah air yang digunakan untuk proses pembuatan produk sebagai pelarut bahan baku utama dan sebagai bahan baku tambahan pembuatan NaOH ataupun sebagai pencuci. Kebutuhan air proses untuk pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah pada tangki pelarut sebesar 75.538,9458 kg/hari dan pada elektrolisa sebesar 2.058,5862 kg/hari. Sehingga kebutuhan total air proses sebesar 77.597,5327 kg/hari.

c. Air pendingin

Air pendingin pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah untuk pendingin pada *cooler* dan pada barometrik



kondensor. Kebutuhan air pendingin pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran terdapat pada alat antara lain:

Tabel 6.1 Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (kg/hari)
1.	Barometrik Kondensor	1776,1659
2.	Cooler	113691,0914
Total		115467,2573

Kebutuhan make up air pendingin adalah:

$$= 10\% \times \text{total air pendingin}$$

$$= 11546,7257 \text{ kg/hari}$$

d. Air boiler

Air umpan boiler adalah air yang akan diubah menjadi steam sebagai media pemanas seperti heater dan reaktor. Air umpan boiler telah mengalami proses pelunakan agar tidak merusak boiler.

Kebutuhan air boiler pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah:

Tabel 6.2 Kebutuhan Air Boiler

No	Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (Kg/hari)
1.	Reaktor	967.831
2.	Heater	1512.62
3.	Evaporator	12800.89
4.	Steam Jet Ejector	15807.94
Total		31089,281

Kebutuhan air make up

$$= 20\% \times \text{Kebutuhan air boiler}$$

$$= 20\% \times 31089,281$$

$$= 6217,8562$$



6.2 Steam

Steam adalah salah satu dari banyak macam utilitas yang berperan penting dalam proses industri. Steam pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran digunakan pada alat reaktor, heater, evaporator, dan steam jet ejektor. Kebutuhan steam untuk pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran antara lain:

Tabel 6.3 Kebutuhan Steam

No	Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (Kg/hari)
1.	Reaktor	967,831
2.	Heater	151,62
3.	Evaporator	12800,89
4.	Steam Jet Ejector	15807,94
Total		31089,291

Sehingga jika dihitung, kebutuhan total air per harinya adalah:

Tabel 6.4 Kebutuhan Total Air dalam Satu Hari

No	Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (Kg/hari)
1.	Air Sanitasi	56.250,000
2.	Air Proses	77.597,5327
3.	Air Pendingin	11.546,7257
4.	Air Boiler	3.217,8562
Total		148.608,1416

6.3 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah bahan bakar minyak solar. Pabrik ini menggunakan bahan bakar solar pada unit boiler untuk menghasilkan steam, dan pada generator yaitu unit penghasil listrik.



6.4 Listrik

Listrik untuk pabrik ini disupply oleh PT. PLN Persero dan juga disupply dari generator yang ada pada pabrik. Generator ini dimaksudkan sebagai listrik tambahan dan cadangan apabila terjadi keadaan yang tidak terduga dari PLN sendiri. Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dapat dihitung berdasarkan kuat penerangan untuk masing-masing ruangan atau halaman sekitar pabrik yang memerlukan penerangan.

BAB VII

KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) adalah bidang yang berkaitan dengan kesehatan, keselamatan, dan kesejahteraan manusia yang bekerja pada suatu institusi ataupun lingkungan proyek. Keselamatan kerja menunjuk pada perlindungan kesejahteraan fisik dengan tujuan mencegah terjadinya kecelakaan atau cedera terkait dengan pekerjaan. Kecelakaan kerja yang terjadi dapat mengakibatkan cacat hingga sebuah kematian. Oleh karena itu keselamatan dan kesehatan kerja sangatlah penting untuk mengurangi potensi bahaya dan resiko yang akan diterima para karyawan serta menjaga produktivitas karyawan di tempat kerja.

Menurut Undang-Undang No.13 Tahun 2013 disebutkan bahwa:

1. Setiap pekerja/buruh mempunyai hak untuk memperoleh perlindungan atas:
 - a. Keselamatan dan kesehatan kerja
 - b. Moral dan kesusilaan; dan
 - c. Perlakuan yang sesuai dengan harkat dan martabat manusia serta nilai-nilai agama.
2. Untuk melindungi keselamatan pekerja/buruh guna mewujudkan produktivitas kerja yang optimal diselenggarakan upaya keselamatan dan kesehatan kerja.

7.1 Tujuan K3

Keselamatan kerja memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Setiap pegawai dapat jaminan keselamatan dan kesehatan kerja



2. Agar setiap perlengkapan dan peralatan kerja digunakan sebaik-baiknya;
3. Agar semua hasil produksi dipelihara keamanannya;
4. Agar adanya jaminan atas pemeliharaan dan peningkatan gizi pegawai;
5. Agar meningkat kegairahan, keserasian kerja dan partisipasi kerja;
6. Terhindar dari gangguan kesehatan yang disebabkan lingkungan kerja;
7. Agar pegawai merasa aman dan terlindungi dalam bekerja.

Kesehatan dan keselamatan kerja (K3) menurut Peraturan Pemerintah No.50 tahun 2012, memiliki tujuan yaitu:

1. Meningkatkan efektifitas perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja yang terencana, terukur, terstruktur, dan terintegrasi.
2. Mencegah dan mengurangi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja dengan melibatkan unsur manajemen, pekerja/buruh, dan/atau serikat pekerja/serikat buruh.
3. Menciptakan tempat kerja yang aman, nyaman, dan efisien untuk mendorong produktivitas.

7.2 Penyebab dan Akibat Kecelakaan Kerja

Kecelakaan kerja adalah kecelakaan yang terjadi dalam hubungan kerja, termasuk kecelakaan yang terjadi dalam perjalanan dari rumah menuju tempat kerja atau sebaliknya, dan penyakit yang disebabkan oleh lingkungan kerja. Kecelakaan kerja dapat diartikan pula sebagai setiap perbuatan atau kondisi tidak selamat yang dapat mengakibatkan kecelakaan.

Kecelakaan tidak terjadi begitu saja, kecelakaan terjadi karena tindakan yang salah atau kondisi yang tidak aman.



Kelalaian sebagai sebab kecelakaan merupakan nilai tersendiri dari teknik keselamatan. Cara untuk menjegah adanya kecelakaan adalah menghilangkan kondisi kelalaian dan memperbaiki kesadaran mengenai keselamatan setiap karyawan pabrik.

Perusahaan mengenal adanya dua kategori penyakit yang diderita tenaga kerja yaitu:

1. Penyakit umum yang mungkin dapat diderita semua orang. Penyakit umum merupakan tanggung jawab anggota masyarakat karena itu harus mengadakan pemeriksaan sebelum masuk kerja;
2. Penyakit akibat kerja, yang dapat timbul setelah karyawan yang tadinya terbukti sehat memulai pekerjaannya

Adapun kecelakaan dibagi menjadi 4 macam , Antara lain :

1. Kecelakaan ringan, kecelakaan yang terjadi tetapi tidak menimbulkan hilangnya jam kerja.
2. Kecelakaan sedang, kecelakaan yang terjadi sehingga menimbulkan hilangnya jam kerja tetapi tidak menimbulkan cacat jasmani. Secara umum, terjadinya kecelakaan disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

a. Lingkungan Fisik

Lingkungan fisik meliputi mesin, peralatan, bahan produksi lingkungan kerja, penerangan dan lain-lain. Kecelakaan terjadi akibat dari:

- Kesalahan perencanaan.
- Aus atau rusaknya peralatan.
- Kesalahan pada waktu pembelian.



- Terjadinya ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol.
 - Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat.
 - Lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan seperti panas, lambat, bising dan salah penerangan.
3. Manusia
- Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan) dapat terjadi akibat beberapa hal, yang antara lain adalah sebagai berikut :
- Kurangnya pengetahuan dan keterampilan karyawan
 - Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja.
4. Sistem Manajemen
- Kecelakaan yang disebabkan karena sistem manajemen, dapat terjadi akibat beberapa hal di bawah ini, yaitu:
- Kurangnya perhatian manajer terhadap keselamatan kerja.
 - Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi.
 - Kurangnya sistem penanggulangan terhadap bahaya.
 - Kurangnya penerapan prosedur yang baik.
 - Tidak adanya inspeksi peralatan.



7.3 Usaha-usaha Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Pencegahan kecelakaan kerja pada dasarnya merupakan tanggung jawab para manajemen yang wajib memelihara kondisi kerja yang selamat sesuai dengan ketentuan pabrik. Di pihak lain, para kepala urusan wajib senantiasa mencegah jangan sampai terjadi kecelakaan.

Umumnya kejadian kecelakaan kerja disebabkan kesalahan manusia (*human error*), dimana penyebab kecelakaan bermula pada kegiatan tidak selamat manusia itu sendiri. Ada beberapa perbuatan yang mengusahkan keselamatan, antara lain:

- a. Setiap karyawan bertugas sesuai dengan pedoman dan penuntun yang diberikan.
- b. Setiap kecelakaan atau kejadian yang merugikan harus segera dilaporkan kepada atasan.
- c. Setiap peraturan dan ketentuan keselamatan dan kesehatan kerja harus dipatuhi secermat mungkin.
- d. Semua karyawan harus bersedia saling mengisi atau mengingatkan akan perbuatan yang dapat menimbulkan bahaya.
- e. Peralatan dan perlengkapan keselamatan dan kesehatan kerja dipakai (digunakan) bila perlu.

Terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan perusahaan yang dianggap dapat mengganggu kenyamanan, kesehatan, dan dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Hal tersebut adalah suhu, penerangan, kebisingan, dan sanitasi lingkungan kerja. Berikut ini adalah hal yang mempengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan dapat menimbulkan kecelakaan kerja:

- a. Suhu



Tekanan panas di suatu lingkungan kerja merupakan perpaduan antara faktor iklim: suhu udara, kelembaban, radiasi dan kecepatan angin dan faktor non-iklim : panas metabolisme tubuh, pakaian kerja dan tingkat aklimatisasi. Pencegahan terhadap tekanan panas antara lain

- Ventilasi yang cukup sehingga terjadi sirkulasi udara dalam ruang kerja.
- Cukup mengkonsumsi air dan garam.
- Isolasi antara sumber panas dan tenaga kerja.

b. Penerangan

b. Tenaga kerja

harus dengan jelas dapat melihat objek-objek yang sedang dikerjakan, juga harus dapat melihat dengan jelas pula mesin-mesin/peralatan selama proses produksi agar tidak terjadi kecelakaan kerja. Untuk itu diperlukan penerangan di tempat kerja yang memadai. Untuk setiap jenis pekerjaan diperlukan intensitas penerangan yang tertentu pula. Hal ini telah diatur dalam P.M.P. No.7 tahun 1964 tentang syarat-syarat kesehatan, kebersihan serta penerangan dalam tempat kerja.

c. Kebisingan

Kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki yang menimbulkan berbagai macam gangguan, yaitu: gangguan pendengaran, fisiologis, komunikasi, performance, gangguan tidur dan psikologis.

Pemerintah telah menetapkan Nilai Ambang Kebisingan sebesar 85 dB(A) untuk lingkungan kerja yaitu suatu iklim kerja yang oleh tenaga kerja masih dapat dihadapi dalam pekerjaannya sehari-hari tidak mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan untuk



waktu kerja terus menerus tidak lebih dari 8 jam sehari dan 40 jam seminggu. Kebisingan dapat dikontrol melalui :

- Pengendalian pada sumber kebisingan.
- Meningkatkan jarak antara sumber dan penerima kebisingan.
- Mengurangi waktu paparan kebisingan.
- Menempatkan barrier antara sumber dan pekerja yang terpapar.
- Pemakaian alat pelindung telinga (*ear muff*, *ear plug*).

d. Sanitasi Lingkungan Kerja

Salah satu aspek sanitasi lingkungan kerja adalah ketatarumahtangaan yang diartikan lebih dari menjaga fasilitas pabrik tetap bersih dan bebas dari limbah/sampah, tetapi juga berarti teratur segala-galanya. Jadi ketatarumahtangaan termasuk juga mengatur perkakas alat-alat kerja, penyimpanan fasilitas dan bahan.

Ketatarumahtangaan yang baik tidak dapat dicapai dengan suatu pembersihan menyeluruh yang dilakukan hanya sekali-kali saja. Bila pabrik akan dibersihkan dan secara teratur, rencana ini harus disusun dengan baik. Rencana untuk kebersihan pabrik harus menjadi suatu kegiatan yang terus menerus dan dengan cara-cara pelaksanaan untuk pengecekan dan evaluasi yang baik harus ditegakkan.

7.4 Alat Pelindung Diri

Alat Pelindung Diri selanjutnya disingkat APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi



seseorang yang fungsinya mengisolasi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja.

Berikut ini adalah macam-macam alat pelindung diri beserta fungsi dan jenisnya:

1. Alat pelindung kepala

Fungsi Alat pelindung kepala adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan, terantuk, kejatuhan atau terpukul benda tajam atau benda keras yang melayang atau meluncur di udara, terpapar oleh radiasi panas, api, percikan bahan-bahan kimia, jasad renik (mikro organisme) dan suhu yang ekstrim. Jenis Jenis alat pelindung kepala terdiri dari:

- Helm pengaman (*safety helmet*)



Gambar 7.1 *Safety helmet*



- Topi atau tudung kepala



Gambar VII.2 Topi

- Penutup atau pengaman rambut, dan lain-lain.
2. Alat pelindung mata dan muka

Fungsi Alat pelindung mata dan muka adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi mata dan muka dari paparan bahan kimia berbahaya, paparan partikel-partikel yang melayang di udara dan di badan air, percikan benda-benda kecil, panas, atau uap panas, radiasi gelombang elektromagnetik yang mengion maupun yang tidak mengion, pancaran cahaya, benturan atau pukulan benda keras atau benda tajam.

Jenis Jenis alat pelindung mata dan muka terdiri dari:

- Kacamata pengaman (*spectacles*)



Gambar VII.3 Kaca Mata

- *Goggles*



Gambar 7.4 *Goggles*

- Tameng muka (*face shield*)



Gambar 7.5 Tameng Muka

- Masker selam



Gambar 7.6 Masker Selam

- Tameng muka kaca mata pengaman dalam kesatuan (*full face masker*)



Gambar 7.7 Full Face Masker 3.

Alat pelindung telinga

Fungsi Alat pelindung telinga adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi alat pendengaran terhadap kebisingan atau tekanan.

Jenis Jenis alat pelindung telinga terdiri dari:



- ☐ Sumbat telinga (*ear plug*)



Gambar 7.8 Ear Plug

- ☐ Penutup telinga (*ear muff*)



Gambar 7.9 Ear Muff

4. Alat pelindung pernapasan

Fungsi Alat pelindung pernapasan beserta perlengkapannya adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi organ pernapasan dengan cara menyalurkan udara bersih dan sehat dan/atau menyaring cemaran bahan kimia, mikro-organisme, partikel yang berupa debu, kabut (aerosol), uap, asap, gas/ fume, dan sebagainya.

Jenis Jenis alat pelindung pernapasan dan perlengkapannya terdiri dari:

- ☐ Masker



Gambar 7.10 Masker



☐ Respirator



Gambar 7.11 Respirator

☐ *Emergency breathing apparatus.*



Gambar 7.12 *Emergency Breathing Apparatus*

- ☐ Katrit
- ☐ Kanister
- ☐ *Re-breather*
- ☐ *Airline respirator*
- ☐ *Continues Air Supply Machine=Air Hose Mask Respirator*
- ☐ Tangki selam dan regulator (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus /SCUBA*)
- ☐ *Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)*



5. Alat pelindung tangan

Fungsi Pelindung tangan (sarung tangan) adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi tangan dan jari-jari tangan dari paparan api, suhu panas, suhu dingin, radiasi elektromagnetik, radiasi mengion, arus listrik, bahan kimia, benturan, pukulan dan tergores, terinfeksi zat patogen (virus, bakteri) dan jasad renik.

Jenis Jenis pelindung tangan terdiri dari:

- ☐ Sarung tangan yang terbuat dari logam
- ☐ Sarung tangan yang terbuat dari kulit
- ☐ Sarung tangan yang terbuat dari kain kanvas
- ☐ Sarung tangan yang terbuat dari kain atau kain berpelapis
- ☐ Sarung tangan yang terbuat dari karet
- ☐ Sarung tangan yang tahan bahan kimia.



Gambar 7.13 Jenis-jenis Sarung Tangan

6. Alat pelindung kaki

Fungsi Alat pelindung kaki berfungsi untuk melindungi kaki dari tertimpa atau berbenturan dengan benda-benda berat, tertusuk benda tajam, terkena cairan panas atau dingin, uap panas, terpajan suhu yang ekstrim, terkena bahan kimia berbahaya dan jasad renik, tergelincir.

Jenis Jenis Pelindung kaki berupa sepatu keselamatan pada pekerjaan peleburan, pengecoran logam, industri, konstruksi bangunan, pekerjaan yang berpotensi bahaya



peledakan, bahaya listrik, tempat kerja yang basah atau licin,
bahan kimia dan jasad renik, dan/atau bahaya binatang dan lain-lain.



Gambar 7.14 *Safety Shoes*

7. Pakaian pelindung

Fungsi Pakaian pelindung berfungsi untuk melindungi badan sebagian atau seluruh bagian badan dari bahaya temperatur panas atau dingin yang ekstrim, pajanan api dan benda-benda panas, percikan bahan-bahan kimia, cairan dan logam panas, uap panas, benturan (impact) dengan mesin, peralatan dan bahan, tergores, radiasi, binatang, mikro-organisme patogen dari manusia, binatang, tumbuhan dan lingkungan seperti virus, bakteri dan jamur.

Jenis Jenis pakaian pelindung terdiri dari:

- ☐ Rompi (*Vests*)
- ☐ Celemek (*Apron/Coveralls*)
- ☐ Jacket
- ☐ Pakaian pelindung yang menutupi sebagian atau seluruh bagian badan.



Gambar 7.15 Pakaian Pelindung



8. Alat pelindung jatuh perorangan

Fungsi Alat pelindung jatuh perorangan berfungsi membatasi gerak pekerja agar tidak masuk ke tempat yang mempunyai

potensi jatuh atau menjaga pekerja berada pada posisi kerja yang diinginkan dalam keadaan miring maupun tergantung dan menahan serta membatasi pekerja jatuh sehingga tidak membentur lantai dasar.

Jenis Jenis alat pelindung jatuh perorangan terdiri dari:

- ☐ Sabuk pengaman tubuh (*harness*)
- ☐ Karabiner
- ☐ Tali koneksi (*lanyard*)
- ☐ Tali pengaman (*safety rope*)
- ☐ Alat penjepit tali (*rope clamp*)
- ☐ Alat penurun (*decender*)
- ☐ Alat penahan jatuh bergerak (*mobile fall arrester*), dan lain-lain.

9. Pelampung

Fungsi Pelampung berfungsi melindungi pengguna yang bekerja di atas air atau dipermukaan air agar terhindar dari bahaya tenggelam dan atau mengatur keterapungan (*buoyancy*) pengguna agar dapat berada pada posisi tenggelam (*negative buoyant*) atau melayang (*neutral buoyant*) di dalam air.

Jenis Jenis pelampung terdiri dari:

- ☐ Jaket keselamatan (*life jacket*)
- ☐ Rompi keselamatan (*life vest*)
- ☐ Rompi pengatur keterapungan (*Bouyancy Control Device*).



7.5 Keselamatan Karyawan di Area Pabrik Kaustik Soda

1. Daerah tangki penyimpanan, perpipaan, dan perpompaan.

Pada kawasan ini pekerja/ karyawan diwajibkan menggunakan:

a. Alat pelindung kaki :

Sepatu pengaman (*safety shoes*), berfungsi untuk melindungi kaki dari bahaya kejatuhan benda-benda berat, terpercik aliran panas dan terlindung dari kebocoran tangki.

b. Alat pelindung kepala :

Safety helmet yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan benda – benda keras atau kejatuhan benda – benda keras.

c. Alat pelindung mata :

Welding mask atau *welding glasses*, berfungsi untuk melindungi mata jika terjadi kebocoran pada tangki dan diperlukan pengelasan.

d. Alat pelindung tangan

Sarung tangan karet (untuk melindungi tangan dari bahaya listrik), serta sarung tangan kulit / PVC / berlapis *chrom* (untuk melindungi dari benda – benda tajam / kasar dan benda-benda panas), dan sarung tangan yang tahan bahan kimia.

e. Alat pelindung badan :

Pakaian pelindung, digunakan untuk menghindari terpaparnya bahan kimia langsung ke tubuh, sehingga mengurangi resiko terluka akibat bahan kimia berbahaya.

2. Pada daerah klarifier, *sand filter*, *heat exchanger* dan *filter press*



Pada kawasan ini pekerja/karyawan diwajibkan menggunakan :

a. Alat pelindung mata :

Welding mask atau *welding glasses*, berfungsi untuk melindungi mata jika terjadi kebocoran.

b. Alat pelindung tangan :

Sarung tangan yang tahan bahan kimia, agar tidak terpapar bahan kimia secara langsung bila terjadi kebocoran, dan sarung tangan kulit / PVC / berlapis *chrom* (untuk melindungi dari benda – benda tajam / kasar dan benda–benda panas).

c. Alat pelindung kaki :

Sepatu pengaman (*safety shoes*), berfungsi untuk melindungi kaki dari bahaya kejatuhan benda – benda berat, terpercik aliran panas/terlalu panasnya pipa HE atau larutan asam ataupun basa yang bersifat korosif akibat dari kebocoran pipa.

d. Alat pelindung kepala :

Safety helmet yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan benda – benda kras atau kejatuhan benda – benda keras.

e. Alat pelindung telinga :

Ear plug (dapat menahan suara sampai 39dB) dan ear muff (sampai 41 dB), atau gabungan keduanya. Diberikan kepada karyawan operator peralatan (mesin) terutama yang ber rpm tinggi.

f. Alat pelindung badan :

Pakaian pelindung, digunakan untuk menghindari terpaparnya bahan kimia langsung ke tubuh, sehingga



mengurangi resiko terluka akibat bahan kimia berbahaya.

3. Pada daerah Reaktor, *electrolyzer*, dan evaporator :

Pada kawasan ini sama karyawan diwajibkan menggunakan :

a. Alat pelindung mata :

Kaca mata, untuk melindungi mata jika terjadi kebocoran dan diperlukan pengelasan.

b. Alat pelindung tangan :

Sarung tangan karet (untuk melindungi tangan dari bahaya listrik), dan sarung tangan yang tahan bahan kimia untuk melindungi dari larutan asam atau basa yang bersifat korosif, serta sarung tangan kulit / PVC / berlapis chrom (untuk melindungi dari benda – benda tajam / kasar dan benda – benda bersuhu tinggi).

c. Alat pelindung kaki :

Sepatu pengaman (*safety shoes*), berfungsi untuk melindungi kaki dari bahaya kejatuhan benda – benda berat, terpercik aliran panas/terlalu panasnya tangki atau

larutan asam ataupun basa yang bersifat korosif akibat dari kebocoran pipa.

d. Alat pelindung kepala :

Safety helmet yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan benda – benda keras atau kejatuhan benda – benda keras.

e. Alat pelindung badan :

Pakaian pelindung, digunakan untuk menghindari terpaparnya bahan kimia langsung ke



tubuh, sehingga mengurangi resiko terluka akibat bahan kimia berbahaya.

f. Alat pelindung telinga

Ear plug (dapat menahan suara sampai 39dB) dan *ear muff* (sampai 41 dB), atau gabungan keduanya. Diberikan kepada karyawan operator peralatan (mesin) terutama yang ber rpm tinggi.

7.5 Keselamatan Pada Alat-alat Pabrik

a. Pada Tangki Penampung

Pada tangki penampung, harus dilengkapi dengan sistem keamanan yang meliputi:

- ☐ Pemberian Label dan spesifikasi bahannya.
- ☐ Serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3
- ☐ Pemberian tanda APD yang perlu digunakan

Terdapatnya kemungkinan terjadinya korosi jenis *unifor attack* (korosi seragam), hal ini dapat diakibatkan reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis.

b. Pada Pompa dan sistem perpipaan

Besarnya kemungkinan terjadinya korosi pada daerah ini maka perlu dilakukan pengecekan secara berkala mengenai kondisi dari alat. Kemudian pemilihan bahan yang benar akan mengurangi pula adanya kecelakaan kerja.

Korosi yang dapat terjadi pada pompa dan sistem perpipaan adalah korosi celah, korosi ini terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut kaya disbanding pada bagian dalam. Selain itu juga dapat terjadi korosi jenis *uniform attack* (korosi seragam), hal ini dapat diakibatkan reaksi kimia karena pH



air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis.

c. Pada *Heat exchanger*

Pada area ini terutama daerah *Heater* perlu adanya isolator untuk mencegah radiasi panas yang terlalu besar, dan perlu adanya penggunaan ear plug atau ear muff pada daerah reboiler karena tingkat kebisingan yang tinggi, serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3.

Pada area ini korosi yang dapat terjadi adalah korosi jenis *uniform attack* (korosi seragam), hal ini dapat diakibatkan reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Selain itu korosi yang dapat terjadi adalah korosi celah pada sambungan antara pipa dengan heat exchanger. Korosi ini terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut kaya disbanding pada bagian dalam.

d. Pada Evaporator

Pada area ini perlu adanya isolator untuk mencegah radiasi panas yang terlalu besar, serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3.

Pada area ini korosi yang dapat terjadi adalah korosi jenis *uniform attack* (korosi seragam), hal ini dapat diakibatkan reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Selain itu korosi yang dapat terjadi adalah korosi celah pada sambungan antara pipa dengan heat exchanger. Korosi ini terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air



sehingga konsentrasi O₂ pada mulut kaya disbanding pada bagian dalam.

- e. Pada area pabrik secara umum atau keseluruhan :
 1. Pemberian jalan antar masing-masing daerah untuk mempermudah keancaran transportasi, serta memudahkan jika terjadi keadaan darurat
 2. Disediakan *hydrant* disetiap plant (unit) untuk menanggulangi pencegahan awal pada saat terjadi kebakaran.
 3. Memasang alarm disetiap *plant* (unit) sebagai tanda peringatan awal adanya keadaan darurat. Disediakan pintu dan tangga darurat serta *emergency room* yang dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat terjadi kejadian darurat.
 4. Pemberian *safety shower* pada setiap daerah untuk menanggulangi bila terkena paparan bahan kimia serta penempatan *safety shower* yang tepat.
 5. Terdapatnya *sprinkle* pada daerah-daerah yang suhunya mudah meningkat seperti reaktor, *elektrolyzer*, dan evaporator, untuk mencegah terjadinya kebakaran ataupun ledakan.
 6. Penempatan APAR (Alat Pemadam Api Ringan) yang lebih dari satu untuk masing-masing daerah dan penempatan yang mudah terjangkau oleh para operator, jika terjadi kebakaran ringan.
 7. Inspeksi pabrik secara keseluruhan direncanakan akan dilakukan setiap tiga bulan sekali. Sedangkan untuk pengecekan fungsi alat seperti APAR akan dilakukan inspeksi setiap satu bulan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VIII

INSTRUMENTASI

8.1 Pendahuluan

Instrumentasi merupakan pengetahuan dalam penerapan alat ukur dan sistem pengendalian pada suatu sistem dengan menggunakan harga numerik variabel besaran proses dan dengan tujuan agar parameter berada dalam batas daerah tertentu atau mencapai tujuan kinerja yang diinginkan. Operasi di industri proses sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses. Beberapa besaran proses yang harus diukur dan dikendalikan pada suatu industri proses, misalnya aliran di dalam pipa, tekanan (*pressure*) di dalam sebuah *vessel*, temperatur di unit *heat exchanger*, tinggi permukaan (*level*) zat cair di sebuah tangki, *conductivity*, *density* or *specific gravity*, dan sebagainya.

Cara pengukuran merupakan bidang yang sangat luas dipandang dari ilmu pengetahuan dan teknik, meliputi masalah deteksi, pengolahan, pengaturan dan analisa data. Besaran yang diukur atau dicatat oleh suatu instrumen termasuk besaran-besaran fisika, kimia, mekanik, listrik, maknit, optik dan akustik. Parameter besaran-besaran tadi merupakan bahan kegiatan yang penting dalam tiap cabang penelitian ilmu dan proses industri yang berhubungan dengan sistem pengaturan proses, instrumentasi proses dan pula reduksi data.

Sistem pengukuran umum terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

- a. Transduser yang mengubah besaran yang diukur (kuantitas yang diukur, sifat atau keadaan) menjadi output listrik yang berguna.



- b. Pengkondisi sinyal yang mengubah output transduser menjadi besaran listrik yang cocok untuk mengatur perekaman atau pemrograman.
- c. Pemraga atau alat yang dapat dibaca, memeragaan informasi tentang besaran yang diukur menggunakan satuan yang dikenal dalam bidang teknik.
- d. Catu daya listrik memberikan tenaga kepada transduser dan bagian pengkondisi sinyal dan pula untuk alat pemraga.

Fungsi alat ukur adalah untuk meraba atau mendeteksi parameter yang terdapat dalam proses industri atau penelitian ilmu pengetahuan seperti : tekanan temperatur aliran, gerakan, tegangan, arus listrik, dan daya. Alat ukur harus mampu mendeteksi tiap perubahan dengan teliti dan dapat membangkitkan sinyal peringatan yang menunjukkan perlunya dilakukan pengaturan secara manual atau mengaktifkan peralatan otomatis.

Instrumentasi merupakan peralatan yang sangat penting dalam mengamati, mengontrol, dan mengendalikan proses produksi suatu industri. Pengontrolan atau pengendalian proses dipasang pada unit pabrik yang benar-benar memerlukan pengontrolan atau pengendalian secara cermat dan akurat agar kapasitas produksi sesuai yang diharapkan. Instrumentasi dapat dibedakan berdasarkan proses kerjanya, antara lain :

- a. Manual atau indicator, yaitu alat pengamatan yang dipasang pada alat proses dimana kondisi prosesnya tidak memerlukan ketelitian. Pada peralatan proses ini hanya dipasang penunjuk atau pencatat saja yang bisa berupa penunjuk (*indicator*) atau perekam (*recorder*).
- b. Otomatis, yaitu *controller* yang dipasang pada alat proses dimana kondisi prosesnya memerlukan ketelitian kondisi



prosesnya. Perubahan kondisi proses sedikit saja akan mempengaruhi produk baik kualitas maupun kuantitasnya sehingga alat proses ini perlu dipasang alat pengendali (*controller*).

Pemasangan alat instrumentasi bertujuan untuk :

- a. Menjaga keamanan operasi suatu proses dengan cara menjaga variabel proses, berada dalam operasi proses yang aman serta mendeteksi situasi bahaya dengan membuat tanda-tanda bahaya dan memutus hubunga secara otomatis.
- b. Mendapatkan rate atau laju alir produksi sesuai dengan yang diinginkan.
- c. Menjaga kualitas produk.
- d. Mempermudah pengoperasian alat.
- e. Keselamatan dan efisiensi kerja lebih terjamin.

Dalam suatu instrumen ada beberapa bagian alat yang pemakaiannya bisa berfungsi sebagai berikut:

- a. *Indicator*, yaitu bagian instrumen yang berfungsi untuk menunjukkan atau pengukuran secara langsung, misalnya *level indicator* yaitu alat penunjuk ketinggian liquida didalam suatu alat pemrosesan.
- b. *Recorder*, yaitu bagian instrumen yang berfungsi untuk mencatat suatu kondisi proses yang merupakan kelengkapan instrument tipe penunjuk, misalnya pena pada jarum penunjuk pengukur tekanan.
- c. *Controller*, bagian instrumen yang berfungsi untuk mengendalikan kondisi proses dan operasi, misalnya : *Flow controller* untuk mengendalikan laju alir fluida didalam pipa, *Temperatur controller* untuk mengendalikan suhu operasi selama proses berlangsung agar sesuai dengan suhu yang telah ditetapkan.



- d. *Sensor (transducer)*, bagian instrumen yang berfungsi untuk berkontak langsung dengan objek yang diukur untuk mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik.
- e. *Sensor Error Detector*, bagian instrumen yang berfungsi untuk mengukur kesalahan yang terjadi antara keluaran actual dengan keluaran yang diinginkan.
- f. Penggerak daya (*ajuator*), bagian instrumen yang berfungsi untuk mengendalikan aliran energy ke system yang dikendalikan. Alat ini disebut juga elemen pengendali akhir. Elemen pengeluaran ini harus mampu menggerakkan beban ke suatu harga yang diinginkan.

Alat-alat kontrol yang digunakan secara umum dalam industri antara lain :

- a. Pengatur suhu :
 - *Temperatur Indicator (TI)*
Fungsi: untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis temperatur indikator antara lain: termometer, termokopel
 - *Temperatur Control (TC)*
Fungsi: mengendalikan atau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
- c. Pengaturan Tekanan
 - *Pressure Indicator (PI)*
Fungs: untuk mengetahui tekanan operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis pressure indikator antara lain: *pressure gauge*.
 - *Pressure Controller (PC)*
Fungsi: mengendalikan atau mengatur tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.



d. Pengatur aliran

Flow Controller (FC)

Fungsi: menunjukkan dan mengendalikan laju suatu aliran dalam suatu peralatan seperti yang telah ditetapkan. Jenis *flow controller* yaitu *Control Valve*.

e. Pengatur tinggi permukaan

Level indicator (LI)

Fungsi: menunjukkan tinggi permukaan fluida pada suatu cairan

Level Indicator Control (LIC)

f. Sebagai alat untuk mengetahui ketinggian operasi dan untuk mengendalikan atau mengatur level operasi agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

8.2 Penerapan Instrumentasi

Berikut ini macam-macam instrumentasi yang digunakan pada pabrik kaustik soda:

No	Alat	Sitem Instrumentasi	Fungsi
1.	Reaktor	<i>Level Control (LC)</i>	Mengontrol ketinggian bahan yang ada di dalam reaktor.
		<i>Temperature Control (TC)</i>	Mengontrol suhu yang ada didalam reaktor dengan mengontrol laju alir dari <i>steam</i> yang masuk.
2.	Klarifier	<i>Alarm High (AH)</i>	Menunjukkan jika terjadi gaya putaranya yang terlalu tinggi pada klarifier.



3.	Sand Filter	<i>Flow Indicator (FI)</i>	Menunjukkan laju alir yang keluar dari sand filter.
		<i>Alarm High High (AHH)</i>	Menunjukkan jika sand filter sudah saatnya untuk dilakukan pembersihan.
4.	<i>Kation dan Anion Exchanger</i>	<i>Level Control (LC)</i>	Mengontrol ketinggian bahan yang ada didalam tangki <i>kation dan anion exchanger</i> .
5.	<i>Electrolyzer</i>	<i>Temperature Control (TC)</i>	Mengontrol suhu yang ada didalam elektrolisa dengan cara mengontrol listrik yang diserap oleh elektrolisa.
6.	Evaporator	<i>Temperature Control (TC)</i>	Mengontrol suhu pada evaporator untuk menghasilkan konsentrasi yang diinginkan.
		<i>Pressure Control (PC)</i>	Mengontrol tekanan operasi pada evaporator.
7.	<i>Cooler</i>	a. <i>Temperature Control (TC)</i>	Mengontrol suhu yang keluar dari cooler agar tidak mempengaruhi penyimpanan.



8.	Heater	Temperature Control (TC)	Mengontrol suhu yang keluar dari heater agar sesuai kondisi optimum pada ion exchange.
9.	Evaporator	Temperature Control (TC)	Mengontrol suhu pada evaporator untuk menghasilkan konsentrasi yang diinginkan.
		Pressure Control (PC)	Mengontrol tekanan operasi pada evaporator.
10.	Flash Evaporator	Temperature Control (TC)	Mengontrol suhu pada evaporator untuk menghasilkan konsentrasi yang diinginkan.
		Pressure Control (PC)	Mengontrol tekanan operasi pada evaporator.
11.	Prils Tower	Temperature Control (TC)	Mengontrol suhu masuk kedalam prills tower dari atas dan bawah sehingga terbentuk padatan NaOH.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IX

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

Air limbah merupakan kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya, dengan demikian air buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran umum. Air limbah berasal dari dua jenis sumber yaitu air limbah rumah tangga dan air limbah industri. Secara umum didalam limbah rumah tangga tidak terkandung zat-zat berbahaya, sedangkan didalam limbah industri harus dibedakan antara limbah yang mengandung zat-zat yang berbahaya dan yang tidak.

Untuk yang mengandung zat-zat yang berbahaya harus dilakukan penanganan khusus tahap awal sehingga kandungannya bisa di minimalisasi terlebih dahulu, karena zat-zat berbahaya itu bisa mematikan fungsi mikro organisme yang berfungsi menguraikan senyawa-senyawa di dalam air limbah. Penanganan limbah industri tahap awal ini biasanya dilakukan secara kimiawin dengan menambahkan zat-zat kimia yang bisa mengeliminasi zat-zat yang berbahaya. Industri kimia pada umumnya menghasilkan 3 jenis limbah yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disebut Limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Pengolahan Limbah B3 adalah proses untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat bahaya dan/atau sifat racun. Upaya pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan melaksanakan konsep 4R, yaitu:

- *Reduce*, minimalisasi sampah dari sumber
- *Reuse*, memanfaatkan kembali sampah



BAB IX Pengolahan Limbah Industri Kimia

- *Recovery*, melakukan upaya untuk perolehan kembali bahan bahan yang berguna.
- *Recycle*, melakukan pemrosesan sehingga menghasilkan produk lainnya

Pada pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran, menghasilkan beberapa jenis limbah antara lain:

- Limbah cair

Limbah cair dihasilkan dari air buangan akhir proses filtrasi, *blowdown* boiler, oli, dan minyak pelumas bekas. Air buangan proses mengandung sedikit sekali garam NaCl.

- Limbah padat

Limbah padat dihasilkan dari proses klarifier dan filtrasi kedua. Limbah padat dari proses klarifier berupa CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dan dari proses filtrasi berupa cake.

- Limbah gas

Limbah gas dihasilkan dari proses elektrolisa. Limbah gas mengandung H_2 , Cl_2 , dan H_2O .

Limbah hasil dari proses perlu dilakukan pengolahan. Berikut adalah pengolahan limbah dari pabrik NaOH

1. Limbah Cair

- Netralisasi

Netralisasi digunakan untuk mengolah air buangan dari *blowdown* boiler. Hasil pengolahan ini diharapkan memenuhi baku mutu lingkungannya yaitu pH 6-7 dan COD <40 mg/L. pengolahan secara netralisasi sebagai berikut pH dari limbah diukur dengan menggunakan converter. Jika pH berada pada rentang 6-9 maka air akan dibuang secara otomatis. Jika pH diluar rentang tersebut maka pH dilakukan injeksi bahan kimia.

- Jika pH > 9, maka diinjeksi HCl



- Jika $\text{pH} < 6$, maka diinjeksi NaOH
- Pengolahan limbah minyak pelumas bekas
Oli dan minyak pelumas bekas pemakaian alat dan mesin dikumpulkan menjadi satu dan kemudian dijual kepada pengumpul pelumas bekas.
- Pengolahan limbah air buangan akhir proses
Dilakukan proses pengendapan, kemudian penyaringan menggunakan sand filter atau dapat pula dilakukan pertukaran ion menggunakan ion exchange, dan kemudian air proses dapat digunakan kembali.

2. Limbah Padat

Limbah padat yang berasal dari klarifier dan proses filtrasi mengandung lumpur, garam NaCl, air, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , dan lain-lain. Limbah padat ini dapat digunakan sebagai kompos dan pupuk.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB X

KESIMPULAN

Dari uraian proses pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran adalah sebesar 112 ton/hari atau 37.000 ton/tahun
2. Bahan baku yang digunakan adalah garam NaCl sebesar 23968,9 kg/hari
3. Proses pembuatan NaOH dari NaCl diperlukan beberapa tahapan proses antara lain:
 - a. Proses pemurnian larutan garam untuk menghasilkan garam yang memiliki kemurnian tinggi sehingga tidak merusak membran yang terdapat pada *elektrolyzer*.
 - b. Proses elektrolisa merupakan proses untuk menghasilkan NaOH dari garam NaCl.
 - c. Proses evaporasi, proses ini dilakukan untuk memekatkan larutan NaOH 32% yang berasal dari *elektrolyzer* menjadi larutan NaOH 50% untuk dijual ke pasaran.
 - d. Proses *Preconcentration* dan *Prilling*, pada proses *Preconcentration* NaOH 50% dipekatkan menjadi 61% terlebih dahulu pada *single effect evaporator*. Lalu, dipekatkan kembali menjadi 98% yang dinamakan prosuk anhidrat pada *flash evaporator*. Dan kemudian masuk kedalam *Prilling tower* dan menghasilkan produk NaOH berupa prilling.
4. Hasil dan limbah



BAB X Kesimpulan

- a. Hasil utama dari pabrik ini adalah kaustik soda (NaOH), sedangkan produk samping berupa gas klorin dan gas hydrogen.
- b. Limbah dari pabrik ini antara lain:
 Limbah cair berupa air buangan akhir proses, oli, pelumas bekas, dan blowdown boiler yang akan diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah padat berupa sludge dan filter cake yang mengandung CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

5. Kebutuhan air

Jumlah kebutuhan air total pabrik NaOH dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran per hari adalah:

No	Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (Kg/hari)
1.	Air Sanitasi	56.250,000
2.	Air Proses	77.597,5327
3.	Air Pendingin	11.546,7257
4.	Air Boiler	3.217,8562
Total		148.608,1416

DAFTAR PUSTAKA

No	Notasi	Keterangan	Satuan
1	m	massa	kg
2	n	mol	mol
3	BM	Berat molekul	g/kmol
4	T	Suhu	°C/°F
5	cp	Heat Capacity	kcal/kg°C
6	ΔH_f	Enthalpy pembentukan	kcal/kmol
7	ΔH_f	Enthalpy product	kcal
8	H	Enthalpy	kcal
9	Hv	Enthalpy vapor	kcal/kg
10	Hl	Enthalpy liquid	kcal/kg
11	Q	Panas	kcal
12	ρ	Densitas	gr/cm ³
13	D	Diameter	In
14	H	Tinggi	In
15	P	Tekanan	atm/psia
16	R	Jari-jari	In

17	A	Luas perpindahan panas	ft ²
18	k	Thermal conductivity	Btu/(hr)(ft ²)(°F/ft)
19	f	Faktor friksi	ft ² /in ²
20	C	Faktor korosi	-
21	Ts	Tebal tangki	in
22	Th	Tebal tutup atas	in

DAFTAR PUSTAKA

- Austin, G. T. (1945). *Shreve's Chemical Process Industries*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Bockris, J. O. (1980). *Comprehensive treatise of electrochemistry, Volume 1*. Plenum Press.
- Derek Pletcher, F. C. (1993). *Industrial Electrochemistry*. Springer Netherlands.
- Fritz Ullmann, M. B. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vols. 1 to 39*. Wiley-VCH.
- O'Brien, T. F. (1934). *Handbook of Chlor-Alkali Technology Volume 1: Fundamentals*. United States of America: Business Media, Inc.
- Speight, J. G. (2001). *Chemical Process and Design Handbook*. United States of America: McGraw-Hill Professional.
- Brownell, L. E., & Edwin H Young. 1959. *Process Equipment Design*. New York.
- Faith, Keyes, & Clark's. 1970. *Industrial Chemicals*. New York: Interscience.
- Geankoplis, C.J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. London : Prentice Hall International.
- Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering, 3rd Edition*. Amsterdam : Elsevier.
- Kern, D. Q. 1950. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.

O'brien, Thomas F. (2007). *Handbook of Chlor Alkali Technology*. United States of America: Springer.

Othmer, K. (1976). *Encyclopedia Of Chemical Technology*. New York: Melya Publications.

Perry, R.H., dan Green, D.W. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. New York : McGraw-Hill.

Pletcher, D. (1990). *Industrial Electrochemistry*. London: Chapman and Hall.

Sedivy, V. (2009). Enviromental Balance Of Salt Production Speaks In Favor Of Solar Saltworks. 46.

Shreve, R. Norris. (1956). *Chemical Process Industries*. New York: Mc Graw-Hill.

Ulrich, G. (1959). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic*. New York: John Wiley & sons, Inc.

Ullmann. (2011). *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: Wiley .

APPENDIKS A NERACA MASSA

Pra-Rancangan Pabrik Pembuatan Natrium Hidroksida dari garam Natrium Klorida dilaksanakan untuk kapasitas produksi sebesar 37000 ton/tahun, dengan ketentuan sebagai berikut:

Kapasitas = 37000 ton/tahun
 = 112 ton/hari
 = 4672 kg/jam
 Operasi = 330 hari
 Basis Waktu = 1 hari
 Bahan Baku = Garam NaCl
 Satuan Massa = kg/jam

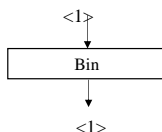
Tabel A.1 Komponen Garam NaCl Masuk

Kandungan	Jumlah	Bahan Baku	Total
Garam NaCl	99.7 % wt	19359.8 kg	19285.6618 kg
Air	0.3 % wt	19359.8 kg	58.0794 kg
Ca	400.0 ppm	19359.8 kg	3.5686 kg
Mg	200.0 ppm	19359.8 kg	1.7843 kg
SO ₄	1200.0 ppm	19359.8 kg	10.7059 kg

(Sedivy, 2009).

I.1 Bin (F-110)

Fungsi : Menyimpan sementara bahan baku garam NaCl sebelum masuk proses



Neraca Massa Total

<1> = <1>

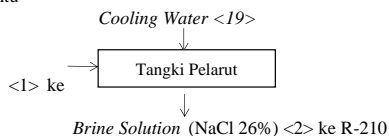
<1> = 19359.8 kg

Tabel A.2 Neraca Massa Bin

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
NaCl	19285.6618 kg	NaCl	19285.6618 kg
Air	58.0794 kg	Air	58.0794 kg
Ca	3.5686 kg	Ca	3.5686 kg
Mg	1.7843 kg	Mg	1.7843 kg
SO ₄	10.7059 kg	SO ₄	10.7059 kg
Total	19359.8000 kg	Total	19359.8000 kg

I.2 Tangki Pelarut (F-112)

Fungsi : Melarutkan garam NaCl dengan *Cooling Water* untuk mencapai konsentrasi tertentu



Tabel A.3 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
----------	------

Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	58.0794 kg
Ca	3.5686 kg
Mg	1.7843 kg
SO ₄	10.7059 kg
Total	19359.8000 kg

Asumsi: Menjadikan NaCl 26%

Jika NaCl 26% = 19285.6618 kg

Maka jumlah air yang dibutuhkan untuk mendapatkan NaCl 24%

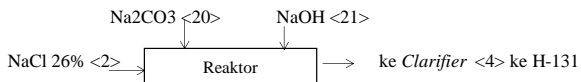
$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Air} &= \frac{\% \text{ air}}{\% \text{ NaCl}} \times \text{Komponen NaCl} - <\text{air}> \\
 &= \frac{74\%}{26\%} \times 19285.6618 - <\text{air}> \\
 &= 54831.8811 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.4 Neraca Massa Tangki Pelarut

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<1>		<2>	
Garam NaCl	19285.6618 kg	Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	58.0794 kg	Air	54889.9605 kg
Ca	3.5686 kg	Ca	3.5686 kg
Mg	1.7843 kg	Mg	1.7843 kg
SO ₄	10.7059 kg	SO ₄	10.7059 kg
	19359.8 kg		
<19>	kg		
Air	54831.8811 kg		
	54831.8811 kg		
Total	74191.6811 kg	Total	74191.6811 kg

I.3 Reaktor (R-210)

Fungsi : Mereaksikan larutan garam NaCl dengan kimia untuk mengendapkan impurities



Tabel A.5 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	54889.9605 kg
Ca	3.5686 kg
Mg	1.7843 kg
SO ₄	10.7059 kg
Total	74191.6811 kg

Dasar perhitungan yang digunakan yaitu:

1. Endapan CaCO₃ dan Mg(OH)₂ yang terbentuk sebesar 50 ppm
2. Densitas dari larutan garam NaCl dengan konsentrasi 26%
Densitas NaCl 26% : 1,19443 (Perry 7th edition, Table 2-88)
3. Jumlah kandungan ion Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, yang terkandung dalam garam NaCl
4. Didapatkan perbandingan BM Ca dan Mg = 40:24

$$\text{Mol Ca}^{2+} = \frac{\text{massa}}{\text{BM}} ; \text{BM Ca} = 40$$

$$= \frac{3.5686}{40}$$

$$= 0.0892 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol Mg}^{2+} = \frac{\text{massa}}{\text{BM}} ; \text{BM Mg} = 24$$

$$= \frac{1.7843}{24}$$

$$= 0.0743 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol SO}_4^{2-} = \frac{\text{massa}}{\text{BM}} ; \text{BM SO}_4 = 96$$

$$= \frac{10.7059}{96}$$

$$= 0.1115 \text{ kmol}$$

Perhitungan volume larutan garam

$$\text{Volume larutan garam} = \frac{\text{massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{74191.6811}{1.19443} = 62114.7167 \text{ L}$$

$$\text{Massa impuritis} = \Sigma \text{endapan total} \times \text{Volume lar. Garam}$$

$$= 3.1057 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{BM CaCO}_3 & = & 100 \\ \text{BM Mg(OH)}_2 & = & 58 \\ \text{BM Na}_2\text{SO}^* & = & 142 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 100 \\ 58 \\ 142 \end{array}} \right\} \text{BM}_{\text{total}} = 300$$

Perhitungan mol impuritis

$$\text{Mol CaCO}_3 = \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{BM}}$$

$$= \frac{1.0352}{100}$$

$$= 0.0104 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol Na}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{BM}}$$

$$= \frac{1.47}{142}$$

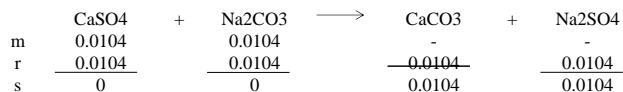
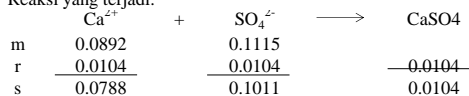
$$= 0.0104 \text{ kmol}$$

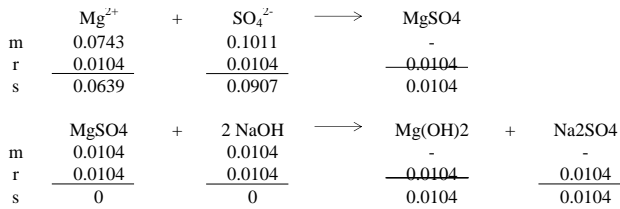
$$\text{Mol Mg(OH)}_2 = \frac{\text{massa Mg(OH)}_2}{\text{BM}}$$

$$= \frac{0.6004}{58}$$

$$= 0.0104 \text{ kmol}$$

Reaksi yang terjadi:





$$\begin{aligned}
 \text{Massa Na}_2\text{CO}_3 \text{ yang dibutuhkan} &= \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \times \text{BM} \\
 &= 1.1020 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaOH yang dibutuhkan} &= \text{mol NaOH} \times \text{BM} \\
 &= 0.4160 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terbentuk} &= \text{mol CaCO}_3 \times \text{BM} \\
 &= 0.0104 \times 100 \\
 &= 1.04 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Mg(OH)}_2 \text{ yang tersisa} &= \text{mol Mg(OH)}_2 \times \text{BM} \\
 &= 0.0104 \times 58 \\
 &= 0.6032 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

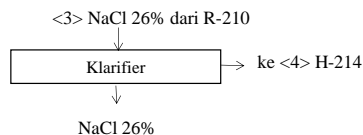
$$\begin{aligned}
 \text{Massa Na}_2\text{SO}_4 \text{ yang tersisa} &= \text{mol Na}_2\text{SO}_4 \times \text{BM} \\
 &= 0.0208 \times 142 \\
 &= 2.9536 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.6 Neraca Massa Reaktor

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<2>		<3>	
Garam NaCl	19285.6618 kg	Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	54889.9605 kg	Air	54903.5175 kg
Ca	3.5686 kg	Ca	3.1520 kg
Mg	1.7843 kg	Mg	1.5336 kg
SO ₄	10.7059 kg	SO ₄	8.7072 kg
	74191.6811 kg	Impuritis	3.1057 kg
<20>		Reagen	1.0783 kg
Na ₂ CO ₃	1.1020 kg		
Air	12.673 kg		
	13.775 kg		
<21>			
NaOH	0.4160 kg		
Air	0.8840 kg		
	1.3000 kg		
Total	74206.7561 kg	Total	74206.7561 kg

1.4 Klarifier (H-212)

Fungsi : Mengendapkan impuritis yang terbantuk pada reaktor menjadi sludge



Tabel A.7 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	54903.5175 kg
Ca	3.1520 kg
Mg	1.5336 kg
SO4	8.7072 kg
Impuritis	3.1057 kg
Reagen	1.0783 kg
Total	74206.7561 kg

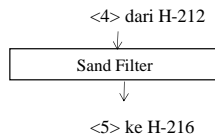
$$\begin{aligned}
 \text{Impuritis yang terendap} &= 10 \\
 \text{Massa impuritis yang terendap} &= \frac{10}{50} \times \text{massa impuritis} \\
 &= \frac{10}{50} \times 3.1057 \\
 &= 0.6211 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.8 Neraca Massa Klarifier

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<3>		<23>	
Garam NaCl	19285.6618 kg	Impuritis	0.6211 kg
Air	54903.5175 kg		0.6211 kg
Ca	3.1520 kg	<4>	
Mg	1.5336 kg	Garam NaCl	19285.6618 kg
SO4	8.7072 kg	Air	54903.5175 kg
Impuritis	3.1057 kg	Ca	3.1520 kg
Reagen	1.0783 kg	Mg	1.5336 kg
	74206.7561 kg	SO4	8.7072 kg
		Impuritis	2.4846 kg
		Reagen	1.0783 kg
			74206.135 kg
Total	74206.7561 kg	Total	74206.7561 kg

1.5 Sand Filter (H-214)

Fungsi : Menyaring zat tersuspensi yang tidak ikut mengendap pada klarifier



Tabel A.9 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	54903.5175 kg
Ca	3.152 kg
Mg	1.5336 kg
SO4	8.7072 kg
Impuritis	2.4846 kg
Reagen	1.0783 kg
Total	74206.135 kg

$$\text{Impuritis yang terendap} = 20$$

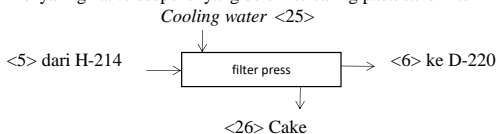
$$\begin{aligned}
 \text{Massa impuritis yang terendap} &= \frac{20}{30} \times \text{massa impuritis} \\
 &= \frac{20}{30} \times 2.4846 \\
 &= 1.6564 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.10 Neraca Massa Sand Filter

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<4>		<24>	
Garam NaCl	19285.6618 kg	Impuritis	1.6564 kg
Air	54903.5175 kg		1.6564 kg
Ca	3.1520 kg	<5>	
Mg	1.5336 kg	Garam NaCl	19285.6618 kg
SO4	8.7072 kg	Air	54903.5175 kg
Impuritis	2.4846 kg	Ca	3.1520 kg
Reagen	1.0783 kg	Mg	1.5336 kg
	74206.1350 kg	SO4	8.7072 kg
		Impuritis	0.8282 kg
		Reagen	1.0783 kg
			74204.4786 kg
Total	74206.1350 kg	Total	74206.1350 kg

I.6 Filter Press (H-216)

Fungsi : Menyaring zat tersuspensi yang belum tersaring pada sand filter



Tabel A.11 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	19285.6618 kg
Air	54903.5175 kg
Ca	3.1520 kg
Mg	1.5336 kg
SO4	8.7072 kg
Impuritis	0.8282 kg
Reagen	1.0783 kg
Total	74204.4786 kg

Ketentuan kondisi operasi

1. Kandungan air dalam cake 50%
2. CaCO_3 , Mg(OH)_2 dan Na_2SO_4 tertahan sebagai cake
3. NaCl yang terikut dalam larutan sebesar 1%
4. NaCl yang terikut dalam cake sebesar 1%

$$\begin{aligned}
 \text{Impuritis yang terendap} &= 9 \\
 \text{Massa impuritis yang terendap} &= \frac{9}{10} \times \text{massa impuritis} \\
 &= \frac{9}{10} \times 0.8282 \\
 &= 0.7454 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NaCl yang terikut} &= 1\% \times \text{massa NaCl} \\
 &= 1\% \times 19285.66
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 192.857 \text{ kg} \\
 \text{Total cake} &= \text{massa impuritis} + \text{massa NaCl yang terikut} \\
 &= 0.7454 + 192.86 \\
 &= 193.60 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Air yang tertahan oleh cake, yaitu sebesar 50%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa air dalam cake} &= \frac{50}{100} \times \text{total cake} \\
 &= \frac{50}{100} \times 193.602 \\
 &= 96.801 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Air dan garam yang terikut larut:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa garam} &= \frac{1}{100} \times \text{massa NaCl} \\
 &= \frac{1}{100} \times 19285.6618 \\
 &= 192.857 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Garam yang tersisa} &= 19285.7 - 192.86 - 192.857 \\
 &= 18899.95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa air yang tersisa

$$\text{Fraksi berat gram} = \frac{19285.66}{74204.4786} = 0.26$$

$$\text{massa yang keluar} = \frac{18899.95}{0.26} = 72720.08 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa air yang tersisa} &= 72720.08 - 18899.95 - 15.2993 \\
 &= 53804.83 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga massa air yang terikut liquid waste} &= 54903.52 - 53901.63 \\
 &= 1001.885 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.12 Neraca Massa Sand Filter

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<5>		<26>	
Garam NaCl	19285.6618 kg	Cake	
Air	54903.5175 kg	Cake	193.6020 kg
Ca	3.1520 kg	Air	96.8010 kg
Mg	1.5336 kg	Liquid Waste	
SO4	8.7072 kg	NaCl	192.8566 kg
Impuritis	0.8282 kg	Air	1001.8851 kg
Reagen	1.0783 kg		1485.1447 kg
	74204.4786 kg	<6>	
		Garam NaCl	18899.9486 kg
		Air	53804.8314 kg
		Ca	3.1520 kg
		Mg	1.5336 kg
		SO4	8.7072 kg
		Impuritis	0.0828 kg
		Reagen	1.0783 kg
			72719.3339 kg
Total	74204.4786 kg	Total	74204.4786 kg

1.7 Kation Exchanger (D-220)

Fungsi : Memperkecil impuritis kation hingga ppb



Tabel A.13 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	18899.9486 kg
Air	53804.8314 kg
Ca	3.1520 kg
Mg	1.5336 kg
SO4	8.7072 kg
Impuritis	0.0828 kg
Reagen	1.0783 kg
Total	72719.3339 kg

Perhitungan mol ion

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Ca}^{2+} &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{3.152}{40} \\
 &= 0.0788 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Cara yang sama dilakukan untuk menghitung komposisi lainnya dalam bentuk mol.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan garam} &= \frac{\text{massa}}{\text{Densitas}} \\
 &= \frac{72719.3339}{1.1752} \\
 &= 61878.2623 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Kesadahan 20 ppb

$$\begin{aligned}
 \text{Ca dan Mg yang tersisa} &= \Sigma \text{kesadahan} \times \text{volume} \\
 &= 0.0012 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan mol kesadahan yang tersisa

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Ca}^{2+} \text{ yang tersisa} &= \frac{\text{massa Ca}^{2+}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{0.0008}{40} \\
 &= 0 \text{ kmol} \\
 \text{Mol Mg}^{2+} \text{ yang tersisa} &= \frac{\text{massa Mg}^{2+}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{0.0005}{24} \\
 &= 0 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi Kation yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 2\text{RNa} + \text{Ca} &\rightarrow \text{R}_2\text{Ca} + 2 \text{Na} \\
 \text{Mol Ca yang bereaksi} &= \text{Mol awal Ca} - \text{Mol Ca yang tersisa} \\
 &= 0.0788 - 0 \\
 &= 0.0788 \text{ kmol} \\
 \text{Na yang terbentuk} &= 2 \times \text{mol Ca yang bereaksi} \\
 &= 2 \times 0.0788 \\
 &= 0.1576 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2\text{RNa} + \text{Mg} &\rightarrow \text{R}_2\text{Mg} + 2 \text{Na} \\
 \text{Mol Mg yang bereaksi} &= \text{Mol awal Mg} - \text{Mol Mg yang tersisa} \\
 &= 0.0639 - 0 \\
 &= 0.0639 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Na yang terbentuk} &= 2 \times \text{mol Mg yang bereaksi} \\
 &= 2 \times 0.0639 \\
 &= 0.1278 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan Na+ yang terbentuk} \\
 \text{Na+ yang terbentuk} &= \text{BM} \times \text{mol Mg yang bereaksi} \\
 &= 23 \times 0.2854 \\
 &= 6.5642 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Resin Na

$$\text{Kapasitas} = \text{eq} \times \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \times \frac{1}{V}$$

$$2,9 \text{ eq/L} = 1 \times \frac{\text{massa}}{189.147} \times \frac{1}{1}$$

$$\text{Massa} = 0.5485 \text{ kg}$$

Maka resin yang dibutuhkan untuk jumlah larutan NaCl adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Massa} &= \text{massa resin/L} \times \text{Vol. NaCl} \\
 &= 0.5485 \times 61878.2623 \\
 &= 33940.2269 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka resin setelah penyerapan

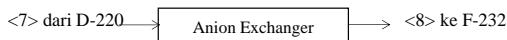
$$\begin{aligned}
 \text{Massa resin} &= \text{massa awal} - \text{massa impuritis yang diserap} \\
 &= 33940.2269 - 6.5642 \\
 &= 33933.6627 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.14 Neraca Massa Kation Exchanger

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<6>			
Garam NaCl	18899.9486 kg	Kation	4.6848 kg
Air	53804.8314 kg		4.6848 kg
Ca	3.152 kg	<7>	
Mg	1.5336 kg	Garam NaCl	18899.9486 kg
SO4	8.7072 kg	Air	53804.8314 kg
Impuritis	0.0828 kg	Ca	0.0008 kg
Reagen	1.0783 kg	Na+	6.5642 kg
Resin Na	33940.2269 kg	Impuritus	0.0828 kg
	106659.5608 kg	Reagen	1.0783 kg
		Resin Na	33933.6627 kg
		SO4	8.7072 kg
			106654.876 kg
Total	106659.5608 kg	Total	106659.5608 kg

1.8 Anion Exchanger (D-230)

Fungsi : Memperkecil impuritis kation hingga ppb



Tabel A.15 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	18899.9486 kg
Air	53804.8314 kg
Ca	0.0008 kg
Na+	6.5642 kg
Impuritis	0.0828 kg
Reagen	1.0783 kg
SO4	8.7072 kg

Total	72721.2133 kg
--------------	----------------------

Perhitungan mol ion

$$\begin{aligned}
 \text{Mol SO}_4 &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{8.7072}{96} \\
 &= 0.0907 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Perhitungan volume garam

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan garam} &= \frac{\text{massa}}{\text{Densitas}} \\
 &= \frac{72721.2133}{1.19443} \\
 &= 60883.6125 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kesadahan yang tersisa

$$\begin{aligned}
 \text{SO}_4 \text{ yang tersisa} &= \Sigma \text{kesadahan} \times \text{volume} \\
 &= 0.3653 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan mol kesadahan yang tersisa

$$\begin{aligned}
 \text{Mol SO}_4 \text{ yang tersisa} &= \frac{\text{massa SO}_4}{\text{BM}} \\
 &= \frac{0.3653}{97} \\
 &= 0.0038 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi Anion yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 2\text{RCl} + \text{SO}_4 &\rightarrow \text{RSO}_4 + 2\text{Cl}^- \\
 \text{Mol SO}_4 \text{ yang bereaksi} &= \text{Mol awal SO}_4 - \text{Mol SO}_4 \text{ yang tersisa} \\
 &= 0.0907 - 0.0038 \\
 &= 0.0869 \text{ kmol} \\
 \text{Cl yang terbentuk} &= 2 \times \text{mol SO}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= 2 \times 0.0869 \\
 &= 0.1738 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Perhitungan massa Cl yang terbentuk

$$\begin{aligned}
 \text{Cl}^- \text{ yang terbentuk} &= \text{BM} \times \text{mol Cl}^- \text{ yang terbentuk} \\
 &= 36 \times 0.1738 \\
 &= 6.1699 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Reaksi tambahan yang terjadi

$$\begin{aligned}
 \text{Na}^+ + \text{Cl}^- &\rightarrow \text{NaCl} \\
 \text{Mol awal Na} &= \frac{6.5642}{23} \\
 &= 0.2854 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

NaCl yang terbentuk

$$\begin{aligned}
 &= \text{mol NaCl yang terbentuk} \times \text{BM} \\
 &= 0.1738 \times 58.5 \\
 &= 10.1673 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Na⁺ yang tersisa

$$\begin{aligned}
 &= \text{mol Na yang terbentuk} \times \text{BM Na} \\
 &= 0.1116 \times 23 \\
 &= 2.5668 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Resin Cl

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= \text{eq} \times \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \times \frac{1}{V} \\
 2.9 \text{ eq/L} &= 1 \times \frac{\text{massa}}{396.092} \times \frac{1}{1}
 \end{aligned}$$

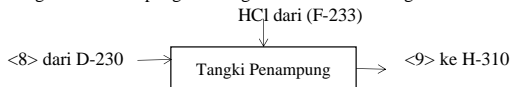
Massa = 1.1487 kg
 Maka resin yang dibutuhkan untuk jumlah larutan NaCl adalah
 Massa = massa resin/L x Vol. NaCl
 = 1.1487 x 60883.6125
 = 69937.0057 kg
 Maka resin setelah penyerapan
 Massa resin = massa awal - massa Cl yang terbentuk
 = 69937.0057 - 6.1699
 = 69930.8358 kg

Tabel A.16 Neraca Massa Anion Exchanger

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<7>			
Garam NaCl	18899.9486 kg	Anion	8.3419 kg
Air	53804.8314 kg		8.3419 kg
Ca	0.0008 kg	<8>	
Na	6.5642 kg	Garam NaCl	18910.1159 kg
Impuritis	0.0828 kg	Air	53804.8314 kg
Reagen	1.0783 kg	Ca	0.0008 kg
SO4	8.7072 kg	Na	2.5668 kg
Resin Cl	69937.0057 kg	Impuritis	0.0828 kg
	142658.2190 kg	Reagen	1.0783 kg
		SO4	0.3653 kg
		Resin Cl	69930.8358 kg
			142649.8771 kg
Total	142658.2190 kg	Total	142658.2190 kg

I.9 Tangki Penampung (F-232)

Fungsi : Menampung larutan garam dari ion exchanger dan membuat larutan hingga pH 3



Tabel A.17 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	18910.1159 kg
Air	53804.8314 kg
Ca	0.0008 kg
Na	2.5668 kg
Impuritis	0.0828 kg
Reagen	1.0783 kg
SO4	0.3653 kg
Total	72718.6760 kg

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan} &= \frac{\text{massa}}{\text{densitas}} \\
 &= \frac{72718.676}{1.1686} \\
 &= 62227.1744 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Penambahan HCl hingga pH = 3

Maka konsentrasi H+

$$[H^+] = [10^{-3}]$$

maka massa dari H+ yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 [H^+] &= \frac{\text{mol}}{\text{volume}} \\
 0.001 &= \frac{\text{mol}}{\text{mol}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol H}^+ &= \frac{62227.1744}{62.2272} \text{ mol} \\ &= 0.0622 \text{ kmol} \end{aligned}$$

Reaksi



$$\begin{aligned} \text{Mol HCl yang dibutuhkan} &= \text{mol H}^+ \\ &= 0.0622 \text{ kmol} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{mol Cl}^- \text{ yang terbentuk} &= \text{mol H}^+ \text{ yang dibutuhkan} \\ &= 0.0622 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol HCl} &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \\ 0.0622 &= \frac{\text{massa}}{36.5} \\ \text{massa HCl} &= 2.2703 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Na} &= \frac{\text{massa Na}}{\text{BM}} \\ &= \frac{2.5668}{23} \\ &= 0.1116 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol SO}_4 &= \frac{\text{massa SO}_4}{\text{BM}} \\ &= \frac{0}{96} \\ &= 0 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa NaCl terbentuk} &= \text{mol NaCl} \times \text{BM NaCl} \\ &= 0.0622 \times 58.5 \\ &= 3.6387 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Na tersisa} &= \text{mol awal Na} - \text{mol NaCl} \\ &= 0.1116 - 0.0622 \\ &= 0.0494 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa Na yang tersisa} &= \text{mol Na sisa} \times \text{BM Na} \\ &= 0.0494 \times 23 \\ &= 1.1362 \text{ kg} \end{aligned}$$

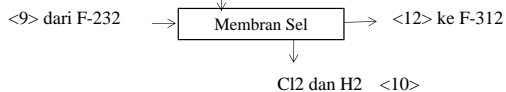
Tabel A.18 Neraca Massa Tangki Pelarut

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<8>		<9>	
Garam NaCl	18910.1159 kg	Garam NaCl	18913.7546 kg
Air	53804.8314 kg	Air	53804.8314 kg
Ca	0.0008 kg	Na	1.1362 kg
Na	2.5668 kg	SO ₄	0.3653 kg
Impuritus	0.0828 kg	Ca	0.0008 kg
Reagen	1.0783 kg	Impuritis	0.0828 kg
SO ₄	0.3653 kg	Reagen	1.0783 kg
	72719.0413 kg	H ⁺	0.0622 kg
<27>			72721.3116 kg
HCl	2.2703 kg		
	2.2703 kg		
Total	72721.3116 kg	Total	72721.3116 kg

I.10 Membran Sel (H-310)

Fungsi : Merubah larutan garam menjadi NaOH

WP <11>



Tabel A.19 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Laju
Garam NaCl	18913.7546 kg
Air	53804.8314 kg
Na	1.1362 kg
SO4	0.3653 kg
Ca	0.0008 kg
Impuritis	0.0828 kg
Reagen	1.0783 kg
H+	0.0622 kg
Total	72721.3116 kg

$$\begin{aligned}
 \text{Mol NaCl} &= \frac{\text{massa NaCl}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{18913.7546}{58.5} \\
 &= 323.312 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

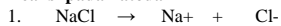
$$\begin{aligned}
 \text{Mol Na} &= \frac{\text{massa Na}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{1.1362}{23} \\
 &= 0.0494 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol H}_2\text{O} &= \frac{\text{massa H}_2\text{O}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{53804.8314}{18} \\
 &= 2989.1573 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol H} &= \frac{\text{massa H}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{0.0622}{1} \\
 &= 0.0622 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol SO}_4 &= \frac{\text{massa SO}_4}{\text{BM}} \\
 &= \frac{0.3653}{96} \\
 &= 0.0038 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi pada katoda



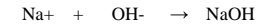
Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Na} &= \text{mol NaCl} \\
 &= 323.312 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mol Cl} = \text{mol NaCl}$$

$$\begin{aligned}
 &= 323.312 \text{ kmol} \\
 \text{Perbandingan NaOH : Cl}_2 \text{ : H}_2 &= 0,563 : 1 : 0,028 \\
 \text{Maka massa Na yang bereaksi} &= \frac{0,56}{1,59} \times \text{mol Na} \times \text{BM} \\
 &= \frac{0,56}{1,59} \times 323.312 \times 23 \\
 &= 2631.41 \text{ kg} \\
 \text{Mol Na yang bereaksi} &= \frac{\text{Massa Na bereaksi}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{2631.4061}{23} \\
 &= 114.409 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi



Sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaOH yang terbentuk} &= \text{Mol Na yang bereaksi} \times \text{BM} \\
 &= 114.4584 \times 40 \\
 &= 4578.336 \text{ kg} \\
 \text{Perbandingan NaOH : Cl}_2 \text{ : H}_2 &= 0,563 : 1 : 0,028 \\
 \text{Maka massa Cl yang bereaksi} &= \frac{1}{1,59} \times \text{mol Cl} \times \text{BM} \\
 &= \frac{1}{1,59} \times 323.312 \times 36 \\
 &= 7214.06 \text{ kg} \\
 \text{Mol Cl yang bereaksi} &= \frac{\text{Massa Na bereaksi}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{7214.0641}{35.5} \\
 &= 203.2131 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$



Sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Cl}_2 \text{ yang terbentuk} &= \text{Mol Cl yang bereaksi} \times \text{BM} \\
 &= 101.60655 \times 71 \\
 &= 7214.0651 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan sisa mol

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Na} &= \text{mol awal} - \text{mol bereaksi} \\
 &= 323.312 - 114.409 \\
 &= 208.903 \text{ kmol} \\
 \text{Mol Cl sisa} &= \text{mol awal} - \text{mol bereaksi} \\
 &= 323.312 - 203.2131 \\
 &= 526.5251 \text{ kmol} \\
 \text{Massa NaCl} &= \text{mol Na sisa} \times \text{BM NaCl} \\
 &= 208.903 \times 58.5 \\
 &= 12220.8255 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaCl yang digunakan} &= \text{massa awal} - \text{massa sisa} \\
 &= 18913.7546 - 12220.8255 \\
 &= 6692.9291 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka, massa H₂O yang dibutuhkan untuk membuat NaOH

$$\begin{aligned}
 \text{massa H}_2\text{O} &= \text{mol OH} \times \text{BM H}_2\text{O} \\
 &= 114.4584 \times 18 \\
 &= 2060.2512 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Reaksi pada anoda



$$\begin{aligned}
 \text{Perbandingan NaOH : Cl}_2 \text{ : H}_2 &= 0,563 : 1 : 0,028 \\
 \text{Maka massa H}^+ \text{ yang bereaksi} &= \frac{0,03}{1,59} \times \text{mol H}^+ \times \text{BM} \\
 &= \frac{0,03}{1,59} \times 114,458 \times 1 \\
 &= 2,0144 \text{ kg} \\
 \text{Mol H}^+ \text{ yang bereaksi} &= \frac{\text{Massa H}^+ \text{ bereaksi}}{\text{BM}} \\
 &= \frac{2,0144}{1} \\
 &= 2,0144 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Massa H}_2 \text{ yang terbentuk} &= \text{Mol H yang bereaksi} \times \text{BM} \\
 &= 2,0144 \times 2 \\
 &= 4,0288 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol H sisa} &= \text{mol awal} - \text{mol bereaksi} \\
 &= 114,4584 - 2,0144 \\
 &= 112,444 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Maka, massa H₂O yang dibutuhkan untuk membuat NaOH

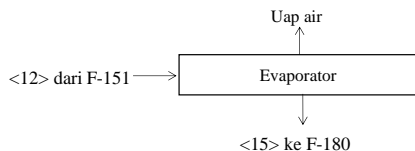
$$\begin{aligned}
 \text{massa H}_2\text{O} &= \text{mol OH} \times \text{BM H}_2\text{O} \\
 &= 112,444 \times 18 \\
 &= 2023,992 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.20 Neraca Massa Membran

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<9>			
Garam NaCl	18913.7546 kg	Garam NaCl	12220.8255 kg
Air	53804.8314 kg	Air	38699.2808 kg
Na	1.1362 kg	SO ₄	0.3653 kg
SO ₄	0.3653 kg	Ca	0.0008 kg
Ca	0.0008 kg	Impuritis	0.0828 kg
Impuritis	0.0828 kg	Reagen	1.0783 kg
Reagen	1.0783 kg		50921.6335 kg
H ⁺	0.0622 kg		
	72721.3116 kg	<12>	
<11>			
		NaOH	4578.336 kg
H ₂ O	2023,992 kg	Air	9728.964 kg
	2023,992 kg		14307.3 kg
		<10>	
		Cl ₂	7214.0651 kg
		H ₂	4.0288 kg
		Air	2298.2762 kg
			9516.3701 kg
			kg
Total	74745.3036 kg	Total	74745.3036 kg

I.11 Multiple Effect Evaporator

Fungsi : Menguapkan NaOH dari 32% menjadi 50%



Tabel A.21 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Berat
Air	9728.9640 kg
NaOH	4578.3360 kg
Total	14307.3000 kg

Kadar pemekatan NaOH pada evaporator adalah 50%

$$\begin{aligned}
 \text{Neraca massa total} &: F = L + V \\
 \text{Neraca massa komponen} &: F \cdot X_F = L \cdot X_L + V \cdot X_V \\
 \text{Dimana,} &F = 14307.3 \\
 &X_F = 0.32 \\
 &X_L = 0.5
 \end{aligned}$$

Diketahui menggunakan evaporator triple effect

Neraca massa overall di evaporator

$$\begin{aligned}
 F &= L_3 + V_1 + V_2 + V_3 \\
 14307.3 &= L_3 + V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots(i)
 \end{aligned}$$

Neraca massa komponen total

Asumsi: Tidak ada bahan kering dalam V ($X_v = 0$)
 X_{L3} adalah konsentrasi akhir NaOH, yaitu 50%

$$\begin{aligned}
 F \cdot X_f &= L_3 \cdot X_{L3} + V \cdot X_v \\
 4578.336 &= (L_3 \cdot 0.5) + 0 \\
 L_3 &= 9156.672 \text{ kg/h} \quad \dots(ii)
 \end{aligned}$$

Jumlah air yang diuapkan (substitusi persamaan i dan ii):

$$(V_1 + V_2 + V_3) = 5150.628 \text{ kg/h}$$

Asumsi jumlah uap sama

$$(V_1 = V_2 = V_3) = 1716.876 \text{ kg/h}$$

Jumlah air dalam produk:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Air masuk} - \text{Air yang diuapkan} \\
 &= 9728.964 - 5150.628 \\
 &= 4578.336 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

Neraca massa tiap evaporator:

Evaporator I	
F	= L ₁ + V ₁
14307.3	= L ₁ + 1716.876
L ₁	= 12590.424 kg
F x XF	= (L ₁ x XL ₁) + (V ₁ x XV ₁)
4578.336	= 12590.424 x XL ₁
XL ₁	= 0.36

Tabel A.22 Neraca Massa Evaporator Efek I

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<12>		<13>	
Air	9728.9640 kg	Air	8012.0880 kg
NaOH	4578.3360 kg	NaOH	4578.3360 kg
	14307.3000 kg		12590.4240 kg
		Vapor	1716.8760 kg
			1716.8760 kg
Total	14307.3000 kg	Total	14307.3000 kg

Evaporator II

$$L_1 = L_2 + V_2$$

12590.424	=	L2	+	1716.876
L2	=	10873.548	kg	
L1 x LX1	=	(L2 x XL2) + (V2 x XV2)		
4532.5526	=	10873.548	x	XL2
XL2	=	0.42		

Tabel A.23 Neraca Massa Evaporator Efek II

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<13>		<14>	
Air	8012.0880 kg	Air	6295.2120 kg
NaOH	4578.3360 kg	NaOH	4578.3360 kg
	12590.4240 kg		10873.5480 kg
		Vapor	1716.8760 kg
			1716.8760 kg
Total	12590.4240 kg	Total	12590.4240 kg

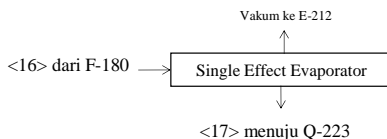
Evaporator III				
L2	=	L3	+	V3
10873.548	=	L3	+	1716.876
L3	=	9156.672	kg	
L2 X LX2	=	(L3 x XL3) + (V3 x XV3)		
4566.8902	=	9156.672	x	XL2
XL3	=	0.5		

Tabel A.24 Neraca Massa Evaporator Efek III

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<14>		<15>	
Air	6295.2120 kg	Air	4578.3360 kg
NaOH	4578.3360 kg	NaOH	4578.3360 kg
	10873.5480 kg		9156.6720 kg
		Vapor	1716.8760 kg
			1716.8760 kg
Total	10873.5480 kg	Total	10873.5480 kg

I.12 Single Effect Evaporator (V-510)

Fungsi : Menguapkan NaOH dari 50% menjadi 61% dengan keadaan vakum (O'brien).



Tabel A.25 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Berat
Air	4578.336 kg
NaOH	4578.336 kg
Total	9156.672 kg

Dimana, F = 9156.672
XF = 0.5

$$XL1 = 0.61$$

Neraca massa overall di evaporator

$$F = L + V$$

Neraca per komponen

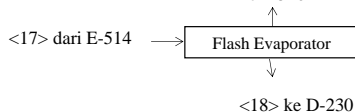
$$\begin{aligned} F \times XF &= L \times XL1 \\ 4578.336 &= L \times 0.61 \\ L &= 7505.4689 \text{ kg/h} \\ \\ F &= L + V \\ 9156.672 &= 7505.4689 + V \\ v &= 1651.2031 \end{aligned}$$

Tabel A.26 Neraca Massa Single Effect Evaporator

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
<16>		<17>	
Air	4578.3360 kg	Air	2927.13290 kg
NaOH	4578.3360 kg	NaOH	4578.3360 kg
	9156.6720 kg		7505.46890 kg
		Vapor	1651.20310 kg
			1651.20310 kg
Total	9156.6720 kg	Total	9156.6720 kg

I.13 Flash Evaporator (V-520)

Fungsi : Menguapkan NaOH dari 61% menjadi 98% (*O'brien*).
ke F-510



Tabel A.27 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Berat
Air	2927.1329 kg
NaOH	4578.3360 kg
Total	7505.4689 kg

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } F &= 7505.4689 \\ XF &= 0.61 \\ XL1 &= 0.98 \end{aligned}$$

Neraca massa overall di evaporator

$$F = L + V$$

Neraca per komponen

$$\begin{aligned} F \times XF &= L \times XL1 \\ 4578.336 &= L \times 0.98 \\ L &= 4671.7714 \text{ kg/h} \\ \\ F &= L + V \\ 7505.4689 &= 4671.7714 + V \\ v &= 2833.6975 \end{aligned}$$

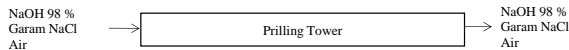
Tabel A.28 Neraca Massa Single Effect Evaporator

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total

<16> Air NaOH	2927.1329 kg	<17> Air NaOH	93.4354 kg
	4578.3360 kg		4578.3360 kg
	7505.4689 kg		4671.7714 kg
		blabla	
		Vapor	2833.6975 kg
			2833.6975 kg
Total	7505.4689 kg	Total	7505.4689 kg

I.14 Prilling Tower (D-610)

Fungsi: Membentuk partikel-partikel NaOH yang keluar dari Flash Evaporator dengan bantuan udara pendingin dari *cooler*



Asumsi : Efisiensi pembentukan butiran terbentuk, artinya semua membentuk butiran NaOH

Tabel A.29 Neraca Massa Prilling Tower

Masuk		Keluar	
Komponen	Total	Komponen	Total
Air	93.4354 kg	Air	93.4354 kg
NaOH	4578.3360 kg	NaOH	4578.3360 kg
Total	4671.7714 kg	Total	4671.7714 kg

Spesifikasi Produk :

Komponen	Berat	%Berat
Air	93.4354	2.00
NaOH	4578.336	98.00
Total	4672	100

Spesifik produk komersial : Asahimas Chemical

Kadar NaOH minimal 98% wt

Tinjauan Kapasitas Produksi :

Produk NaOH	=	37000	ton/tahun
	=	37000000	kg/tahun
	=	112121.21	kg/hari
	=	4672	kg/jam

Rencana Kapasitas Produksi terpasang	=	4672	kg/jam
Faktor scale up kapasitas pabrik	=	<u>4672</u>	
	=	1	

Maka kebutuhan NaCl untuk kapasitas pabrik sebesar 37000 ton/tahun adalah

=	Basis NaCl pada perhitungan x Faktor Scale Up
=	1000 kg/jam x 1
=	1000

APENDIKS B

NERACA PANAS

Kapasitas produksi	=	37.000 Ton/tahun = 122 ton/hari
Operasi	=	330 hari
Basis Waktu	=	1 hari
Bahan Baku	=	4671.72 kg
Temperatur Reference	=	25 °C
satuan panas	=	kcal

Tabel B.1 Data heat capacity

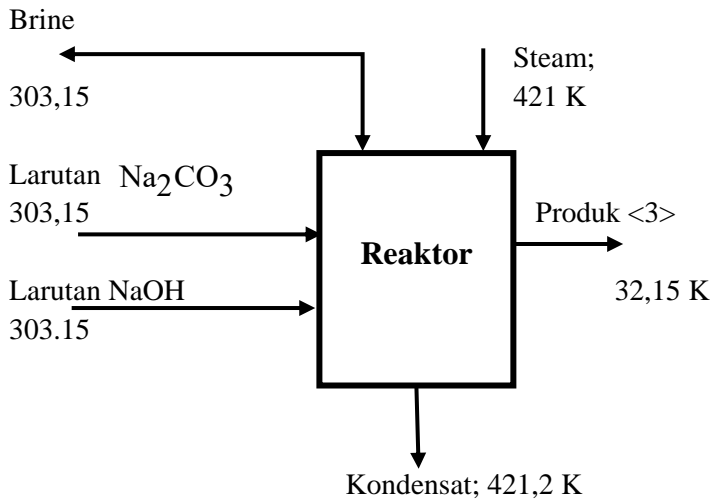
Komponen	BM	Heat Capacities(Cp)	Satuan
NaCl	58.5	10.79+0.00420T	kal/mol K
H ₂ O	18	0.9977	kal/g OC
CaSO ₄	136	16.9+0.00386T	kal/mol K
NaOH	40	0.46	kal/g OC
Na ₂ CO ₃	106	28.9	kal/mol K
CaCO ₃	100	19.68+0.01189T-307600/T ²	kal/mol K
MgCl ₂	95	17.3+0.00377T	kal/mol K
MgSO ₄	120	26.7	kal/mol K
Mg(OH) ₂	58	18.2	kal/mol K
NaSO ₄	142	32.8	kal/mol K

(perry, 8th edition)

1. Reaktor (R-120)

fungsi : mereaksikan larutan brine dengan NaOH dan Na₂CO₃

Kondisi Operasi : Tekanan operasi	=	1 atm
Suhu operasi	=	328,15 K
Waktu operasi	=	1 Jam
Tref	=	298,15 K



$$CP = A + B.T + C.T^2 + D.T^3$$

$$\Delta H = \int_{T_{\text{ref}}}^T C_p dT = \int_{T_{\text{ref}}}^T (A + B.T + C.T^2 + D.T^3) dT$$

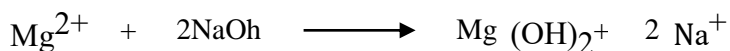
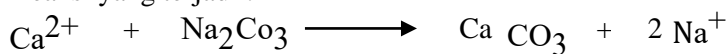
$$= A(T - T_{\text{ref}}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{\text{ref}}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{\text{ref}}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{\text{ref}}^4)$$

Enthalpi bahan masuk :

komponen	massa (kg)	mol	$\int C_p dT$	ΔH (kkal)
<2>				
NaCl	19285.6618	329.669432	1.0301	19867.0998
Air	54889.9605	3049.44225	4.9885	273818.568
Ca SO ₄	3.5686	0.02623971	0.6640	2.3695
Mg SO ₄	1.7843	0.01486917	67.228	119.9556
Mg SO ₄	10.7059	0.08921583	1.1125	11.9103
<17>				

Na ₂ CO ₃	1.102	0.01039623	1.3632	1.5023
Air	12.673	0.70405556	4.9885	63.2193
<18>				
NaOH	0.416	0.0104	2.3	0.9568
Air	0.884	0.04911111	4.9885	4.4098
Total	74205.8721			293885.582

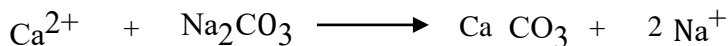
Reaksi yang terjadi :



Data ΔH°_f komponen :

Komponen	ΔH°_f (kkal/mol)
Ca SO ₄	-336.58
Na ₂ CO ₃	-269.46
NaCl	-98.321
Ca CO ₃	-289.5
NaOH	-101.96
Mg SO ₄	-304.94
Mg (OH) ₂	-221.9
Na ₂ SO ₄	-330.5

(Perry, 8th edition, Table 2-178)



Rumus :

$$\Delta H_R^{\circ} \text{ Tref} = (\sum \Delta H_F^{\circ} \text{ Tref produk}) - (\sum \Delta H_F^{\circ} \text{ Tref reaktan})$$

komponen	mol	ΔH_F° Reaktan	ΔH_F° Produk
Ca	145.239	-48884.5426	
Na ₂ CO ₃	5.9792	-1611.1552	
Ca CO ₃	57.301		-16588.6395
Na ₂ SO ₄	57.3		-18937.65
		14969.4083	kkal

Reaksi yang terjadi :



Komponen	mol	ΔH_F° Reaktan	ΔH_F° Prod
Mg	82.3025	-25097.3244	
NaOH	24.35	-2482.726	
Mg(OH) ₂	57.3017		-12715.2472
Na ₂ SO ₄	33.2000		-3264.2572
		11600.546	kkal

$$\Delta H_1 = 14969.4083$$

$$\Delta H_2 = 11600.546$$

$$\text{Total} \quad 26569.9543 \quad (\text{Endothermis})$$

Entalpi bahan keluar :

komponen	Massa (kg)	mol	$\int C$	ΔH (Kkal)
<3>				
NaCl	19285.6618	482.141545	6.2078	119721.729
Air	5490.35175	305.019542	29.91	164216.421
Ca SO ₄	3.152	0.02317647	3.9946	12.5909136

Mg SO ₄ ⁷	1.5336	0.01278	6.675	10.23678
Mg SO ₄	8.7072	0.07256	6.675	58.12056
Ca CO ₃	1.04	0.0104	693.11	720.83648
Mg (OH) ₂	0.6032	0.0104	0	0
Na ₂ SO ₄	2.9536	0.0208	0	0
Total	24794.0032			284739.935

Neraca Energi :

Enthalpi bahan masuk - ΔH reaksi (eksoterm) = Enthalpi keluar

Enthalpi masuk = 293885.5815

ΔH reaksi (eksoterm) = 26569.9543

Enthalpi keluar = 284739.9347

ΔH Input + Qsupply = ΔH Output + ΔH Rx + Q loss

0.95 Q supply = 17424.3075

Qsupply = 18341.3763

Qloss = 917.068814

Menghitung massa steam yang dibutuhkan :

Massa X = Q supply

Massa X = $\frac{Q \text{ supply}}{\lambda}$

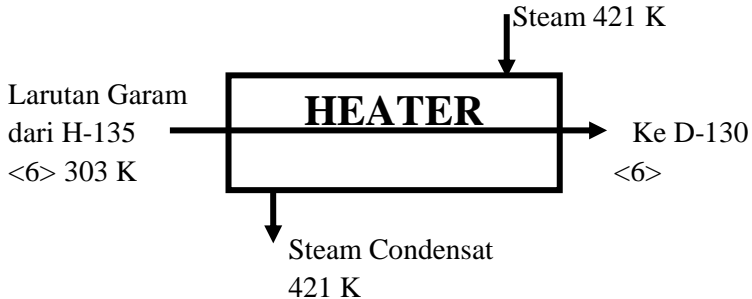
Massa = $\frac{54625309915}{2120 \times 4.184}$
= 1.964391242

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH input	293885.5815	ΔH out	284739.9347
Qsupply	18341.37628	Qloss	917.0688141
		ΔH Rx	26569.9543

Total	312226.9578	Total	312226.9578
--------------	--------------------	--------------	--------------------

2. Heater (E-136)

Fungsi : Memanaskan larutan garam sebelum menuju membran



Tref = 298

Enthalpy bahan masuk :

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dt	Mol	H Masuk
<6>				
NaCl	18913.7546	1.03009402	323.31	19482.9455
Air	53804.8314	4.9885	2989.2	268405.401
Na ₂ SO ₄	1.1362	0.94014085	0.0095	1.06818803
Na ₂ CO ₃	0.0008	1.36320755	8E-06	0.00109057
Air	0.0622	4.9885	0.0035	0.3102847
Air	2023992	4.9885	112444	10096684.1
Total	2096711.79			10384573.8

Enthalpy bahan keluar

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dT	Mol	ΔH (Kkal)
<6>				
NaCl	18913.7546	12.5126	323.31	236660.246
Air	53804.8314	44.8965	2989.2	2415648.61

Na ₂ SO ₄	1.1362	8.46126761	0.0095	9.61369225
Na ₂ CO ₃	0.0008	12.2688679	8E-06	0.00981509
Air	0.0622	44.8965	0.0035	2.7925623
Air	2023992	20.7	50600	41896634.4
Total	2096711.79			44548955.7

Neraca panas total :

$$Q_{\text{loss}} = 0.05 \text{ Supply}$$

$$\Delta H_{\text{input}} = 10384573.82$$

$$\Delta H_{\text{output}} = 44548955.67$$

$$\Delta H_{\text{input}} + Q_{\text{supply}} = \Delta H_{\text{output}} + Q_{\text{loss}}$$

$$0.95 Q_{\text{supply}} = 34164381.86$$

$$Q_{\text{supply}} = 35962507.22$$

$$Q_{\text{loss}} = 1798125.361$$

Menghitung massa steam yang dibutuhkan :

$$\text{massa} \times \lambda_s = Q_{\text{supply}}$$

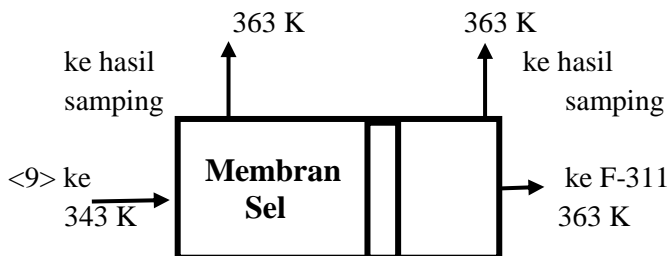
$$\text{massa} = \frac{1959809.666}{2120 \times 4.184}$$

$$= 4054.36109 \text{ kg/hari}$$

Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH_{input}	10384573.82	ΔH_{output}	44548955.7
Q_{supply}	35962507.22	Q_{loss}	1798125.36
Total	46347081.0	Total	46347081.0

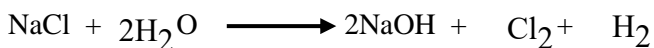
3. Membran Elektrolisis (H-210)

Fungsi : Merubah larutan garam menjadi NaOH



Tref	=	25 C	=	298 K
Tmasuk	=	70 C	=	343 K
Tkeluar	=	90 C	=	363 K

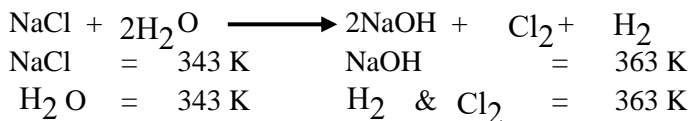
Komponen	Massa	Cp.dT	Mol	ΔH (Kkal)
NaCl	18913.7546	9.33546154	323.31	176568.629
Air	53804.8314	44.8965	2989.2	2415648.61
Na ₂ SO ₄	1.1362	10.0125	0.0095	11.3762025
Na ₂ Co ₃	0.0008	12.2688679	8E-06	0.00981509
Air	0.0622	44.8965	0.0035	2.7925623
Air	2023992	20.7	50600	41896634.4
Total	2096711.79			0



Data ΔH°_f Komponen

Komponen	ΔH°_f (kkal/mol)
NaOH	-110.96
NaCl	-98.321
H ₂ O	-68.3174
H ₂	0
Cl ₂	0

Reaksi I :



Komponen	Mol	$\Delta H^{\circ}f$ Reaktan	Produk
NaCl	408450.021	-40159214.47	
H ₂ O	4201632.32	-287044595.6	
NaOH	114366		-12690051.4
Cl ₂	72183		0
H ₂	144450.3		0
Jlta Hr		314513758.7	kkal

Komponen	Massa	Cp.dT	Mol	ΔH (Kkal)
<12>				
NaCl	12220.8255	156.8957	208.9	1917394.97
Air	38699.2808	12.9701	2150	501933.542
Na ₂ SO ₄	0.3653	2.8925	0.003	1.05663025
Na ₂ Co ₃	0.0008	3.54433962	8E-06	0.00283547
NaOH	4576.4	5.98	114.41	27366.872
Air	9724.85	12.9701		126132.277
Cl ₂	4059.9895	109.85676	114.37	446017.292
H ₂	114.5388	89.266385	57.269	10224.4646
Air	11424.5482	12.9701	634.7	148177.533
Total	80820.7989			3177248.01

Enthalpi bahan masuk-reaksi (endothermis)= Enthalpi Out

Enthalpi masuk = 44488865.82

ΔH reaksi (endothermis) = 314513758.7

Enthalpi keluar = 3177248.011

$$\text{Arus} = 103349282$$

$$Q_{\text{loss}} = 0.05 \text{ supply}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Input}} + Q_{\text{supply}} + \text{Arus} &= \Delta H_{\text{output}} + \Delta H_{R_x} + Q_{\text{loss}} \\ 147838148 + Q_{\text{supply}} &= 317691006.7 + Q_{\text{loss}} \\ 0.95 Q_{\text{supply}} &= 177194693.9 \\ Q_{\text{supply}} &= 186520730.4 \\ Q_{\text{loss}} &= 9326036.521 \end{aligned}$$

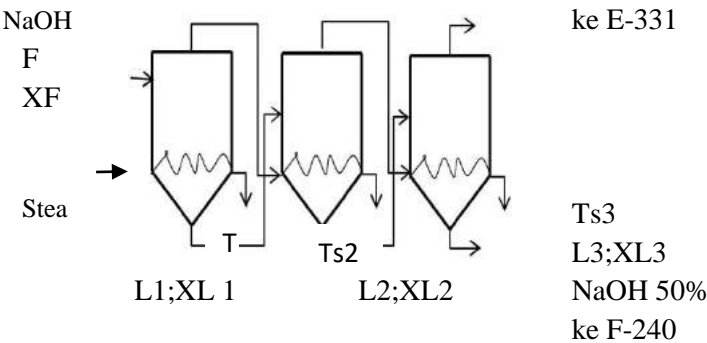
Input	Jumlah	Output	Jumlah
ΔH_{input}	44488865.82	ΔH_{out}	3177248.011
Q_{supply}	186520730.4	ΔH_{R_x}	314513758.7
Arus	103349282	Q_{loss}	9326036.521
Total	334358878.2	Total	334358878.2

4. EVAPORATOR

Fungsi: menguapkan air dengan NaOH 32% menjadi 50%

Kon * Tekanan operasi = 1 atm

* Jumlah effect = 3 effect



Neraca Energi Total :

$$\Delta H \text{ Feed} + Q \text{ steam} = \Delta H \text{ produk} + Q \text{ loss}$$

Perhitungan(BPR) dan Temperature

$$^{\circ}\text{C} = 1,78x$$

$$X1 = 0.4$$

$$X2 = 0.4$$

$$X3 = 0.5$$

Sehingga diperoleh BPR tiap effect :

$$R1 = 1.4 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$R2 = 1.8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$R3 = 2.4 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Kondisi vakum pada effect 3 :

$$p_{\text{am}}, T3 \text{ sat} = 60 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$p_{\text{masuk}}, Ts1 = 121 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = Ts1 - T3(\text{saturation}) - (\text{BPR1} + \text{BPR2} + \text{BPR3})$$

$$= 55 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ atau } 328 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = \frac{(\sum \Delta T \times (1/U_i))}{(1/U_1) + (1/U_2) + (1/U_3)}$$

Asumsi Koefisien Overall Evaporasi :

$$U1 = \text{### W/n Table 8.3.1 Geankoplis hal 834}$$

$$U2 = \text{### W/n Type = Long Tube vertical, natural}$$

$$U3 = \text{### W/n circulation}$$

$$\Gamma 1 = \sum \Delta T \frac{1/U_1}{1/U_1 + 1/U_2 + 1/U_3}$$

$$= 10 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 283 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

$$\Gamma 2 = \sum \Delta T \frac{1/U_2}{1/U_1 + 1/U_2 + 1/U_3}$$

$$\frac{\Delta T}{U_1 + 1/U_2 + 1/U_3}$$

$$= 16 \text{ } ^\circ\text{C} = 289 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\Gamma_3 = \frac{\sum \Delta T}{U_1 + 1/U_2 + 1/U_3}$$

$$= 29 \text{ } ^\circ\text{C} = 302 \text{ } ^\circ\text{K}$$

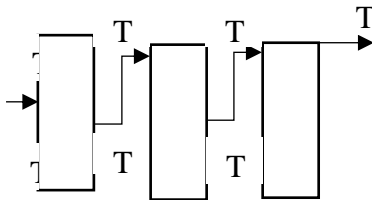
Feed yang masuk suhu disesuaikan :

$$\Gamma_1 = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Gamma_2 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Gamma_3 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Diagram suhu :



Perhitungan Actual Boiling Point pada tiap effect :

$$\Gamma_1 = Ts_1 \text{ } 121.1 - 12.218$$

$$= 107 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Gamma_2 = BPR_1 - \Delta 108.781 - 3.64 - 13.077$$

$$= 91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_2 = T_1 - 108.781 - 3.64$$

$$= 106 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Gamma_3 = BPR_2 - \Delta 92.063 - 4.2 - 22.903$$

$$= 62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_3 = T_2 - 105.141 - 4.2$$

$$= 89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s4 = T3 - 64.96 - 4.96$$

$$= 60^{\circ} \text{C}$$

Heat capacity	ST Geankoplis A.2 -9		
F	Entalpi (Kj/kg)		
Cpf: 4.19 –	T	LIQ	VAP
f = 3.4	85	356	2651.9
1 = 3.3	90	377	2660.1
2 = 3.2	100	419	2676.1
3 = 3	105	440	2683.8
	110	461	2691.5
= 508	115	482	2699
= 444	120	504	2706.3
= 373	125	525	2713.5
= 251	hs1	508	
	Hs1	2707.7	
= 2707.7	hs2	444	
= 2685.4	Hs2	2685.4	
= 2658.5	hs3	373	
= 2609.6	Hs3	2658.5	

Enthalpy

$$H1 = Hs2 + 1.884 \text{ (BPR1)}$$

$$H1 = 2688.1$$

$$\lambda_{s1} = 2199.8$$

$$H2 = Hs3 + 1.884 \text{ (BPR2)}$$

$$H2 = 2661.9$$

$$\lambda_{s2} = 2243.7$$

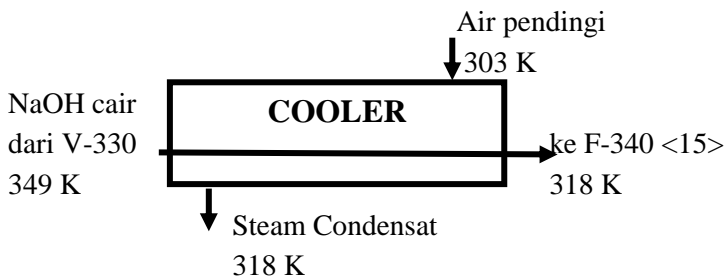
$$H3 = Hs4 + 1.884 \text{ (BPR3)}$$

$$H3 = 2614.2$$

$$\lambda_{s3} = 2289.2$$

5. Cooler (E-333)

Fungsi : Mendinginkan kaustik soda cair darii evaporator



$$T_{ref} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta T = T - T_{ref}$$

Enthalpy Bahan Masuk

komponen	massa (kg)	mol	$\int C_p.dT$	$\Delta H(\text{kkal})$
<6>				
Air	4578.8294	254.3794111	50.883	232983.203
NaOH	4576.4	114.41	23.46	107362.344
Total	9155.2294			340345.547

Enthalpy Bahan Keluar

komponen	massa (kg)	mol	$\int C_p.dT$	$\Delta H(\text{kkal})$
<6>				
Air	4578.8294	254.3794111	19.954	91365.9618
NaOH	4576.4	114.41	9.2	42102.88
Total	9155.2294			133468.842

Neraca Panas Total :

$$\Delta H \text{ input} = 340345.547$$

$$\Delta H \text{ output} = 133468.842$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ inpu} &= \Delta H \text{ output} + Q_{\text{serap}} \\ 340345.547 &= 133468.842 + Q_{\text{serap}} \\ Q_{\text{serap}} &= 206876.705\end{aligned}$$

Menghitung massa air pendingin yang dibutuhkan :

$$Q_{\text{serap}} = H \text{ masuk} - H \text{ keluar}$$

$$m C_p \Delta T = H \text{ masuk} - H \text{ keluar}$$

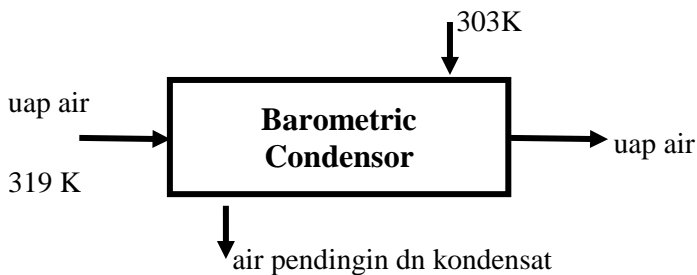
$$m \text{ air} = \frac{H \text{ masuk} - H \text{ keluar}}{C_p \Delta T}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{2787319.698 - 1093065.82}{0.9977 \times (318 - 303)} \\ &= 13823.57455 \text{ kg}\end{aligned}$$

Input	Jumlah	output	Jumlah
$\Delta H \text{ inpu}$	340345.547	$\Delta H \text{ output}$	133468.842
		Q_{serap}	206876.705
Total	340346	Total	340346

6. Barometric Condensor

Fungsi : Mengkondensi uap air yang keluar dari evaporator dan menjaga tekanan evaporator



a. Menghitung enthalpy bahan masuk

$$T_{\text{steam}} = 319 \text{ K} = 46.00 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m = 14285.516 \text{ kg/jam}$$

$$H_v = 2582 \text{ kJ/kg}$$

$$h_l = 185.58 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = 2396.420 \text{ kJ/kg}$$

$$C_p \text{ steam pada } 319^{\circ}\text{K} = 21.0814 \text{ kJ/kg K}$$

$$H_{la} = m \times \lambda$$

$$= 14285.5 \times 2396.42$$

$$= 34234096.3 \text{ kJ}$$

Perhitungan kebutuhan air pendingin :

$$w = \frac{0.3t_v - t_2}{t_2 - t_1}$$

Dimana: *(Hugot, equation 40.5)*

$$t_v = \text{Suhu uap air masuk (}^{\circ}\text{C)}$$

$$t_1 = \text{Suhu air pendingin masuk (}^{\circ}\text{C)}$$

$$t_2 = \text{Suhu hot water meninggalkan kondenser (}^{\circ}\text{C)}$$

menghitung suhu air pendingin keluar, persamaan :

$$t_v - t_2 = (0.12) (t_v - t_1)$$

$$46.00 - t_2 = 5.5$$

$$t_2 = 40.48 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

perbedaan $t_v - t_2 = \text{approach} = \text{(Hugot, hal 886)}$

kebutuhan air pendingin :

$$w = \frac{0.3t_v - t_2}{t_2 - t_1}$$

$$v = 1.9 \frac{\text{pendingin}}{\text{kg uap terkondensasi}} = \frac{\text{kg/jam}}{26445.613}$$

$$H_{\text{air pen m}} C_p \times \Delta T = 5842710.438 \text{ kJ}$$

b. Menghitung enthalpy bahan keluar

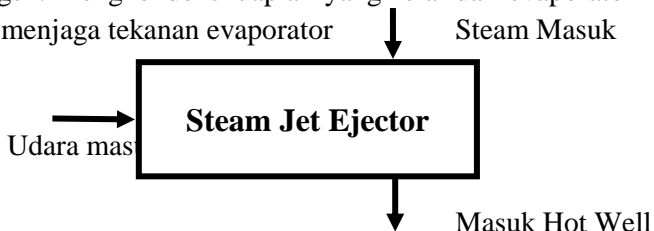
$$\begin{aligned} H &= (m_{\text{vap terkondensasi}} + m_{\text{air pendingin}}) \cdot c_p \cdot \Delta T \\ &= 40731.13 \times 19.152 \times 1.65 \\ &= 1287122.81 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{yang diserap}} &= H_{\text{keluar}} - H_{\text{masuk}} \\ &= 1287122.81 - 40076806.690 \\ &= -38789683.882 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Neraca panas total			
H in (kJ)		H out (kJ)	
H masuk	40076806.690	H keluar	1287122.808
Q serap	-38789683.88		
Total	1287122.808	Total	1287122.808

7. Steam Jet Ejector

Fungsi : Mengkondensi uap air yang keluar dari evaporator dan menjaga tekanan evaporator



Asumsi : kapasitas suction jet ejector berasal dari udara yang terikut pada cooling water yang diinjeksikan pada barometric condensor dan udara dari leakage.

Berdasarkan *Ludwig* (1999), pada fig.6-22 diketahui pada suhu cooling water 82 oF (30 oC)

udara yang terikut adalah: 11 lbs udara/ jam

Jumlah air pendingin yang masuk barometric condensor =

$$623596.023 \text{ kg udara/ hari} \quad 10393.3 \quad \text{kg/ menit}$$

$$1\text{m}^3 = 995,68 \text{ kg} \quad 995.7 \quad \text{kg/ m}^3$$

$$1\text{m}^3 = 264,17 \text{ US gal} = 10.438 \text{ m}^3/\text{menit}$$
$$= 2757.502 \text{ gpm}$$

$$\text{Jumlah udara} = 11 \frac{\text{lbs udara}}{\text{jam.1000 gpm}} \quad 2757.502 \quad \text{gpm}$$

$$1\text{lbm} = 0,4535 = 28.9538 \text{ lbs udara/ jam}$$

$$= 13.1331 \text{ kg udara/ jam}$$

$$= 315.195 \text{ kg udara}$$

Asumsi udara yang terikut karena leakage :

Ludwig , (1999), air leakage untuk tekanan 19.972kPa

$$(5.90 \text{ inF } 25 \text{ lb/ jam} = 11.34 \text{ kg/ jam}$$

$$\text{Total udara y} = 13.133 + 11.34 \text{ kg/jam}$$

$$\text{ejector} = 24.47 \text{ kg udara/ jam}$$

$$= 53.95 \text{ lb udara/jam}$$

Ludwig , (1999) fig. 6-25, maka estimasi steam

pada tekanan 100 psig, steam yang dibutuhkan =

dengan tekanan steam 100 p 689 kPa

$$\text{Total steam yang c} = 35 \frac{\text{lb steam}}{\text{lb udara}} \quad 53.95$$

$$= ##### \text{ lb steam/ jam}$$

$$= 856.551 \text{ kg steam/ jam}$$

Steam yang digunakan 415.4 kPa

asumsi jumlah steam ekuivalen dengan tekanan steam,

maka kebutuhan steam untuk jet ejektor :

$$\frac{689.286}{415.4} = \frac{\text{kg steam/ jam}}{856.6}$$

$$\text{kg steam/ jam} = 1421.3 \text{ kg steam/ jam}$$

a. Menghitung enthalpy bahan masuk

$$\begin{aligned} H_{\text{udara}} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 24.47 \times 1.008 \times 303 \\ &= 7474.6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_s &= m \times \lambda \\ &= 1421.3 \times 2396.4 \\ &= 3E+06 \text{ kJ} \end{aligned}$$

b. Menghitung enthalpy bahan keluar

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= 5\% H_s \\ &= 170302 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$H_{\text{cond}} = H_{\text{udara}} + H_{\text{cond}}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{cond}} &= (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{udara}} + (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{cond}} \\ &= 24.669 (T-0) + 5951 (T-0) \\ &= 5975.7 \text{ kJ } (T-0) \end{aligned}$$

Neraca Energy

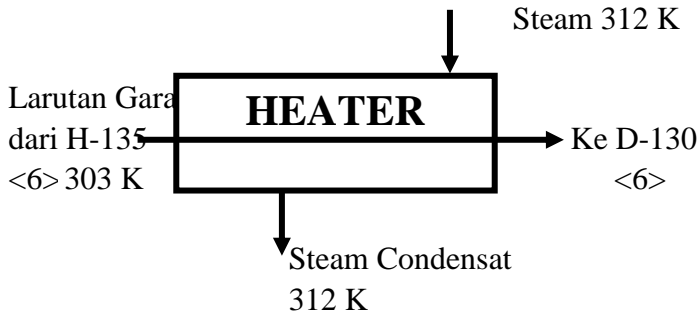
$$\begin{aligned} H_{\text{masuk}} &= H_{\text{keluar}} \\ 3413510.35 &= 170302 + 5976 (T-0) \\ 5976 (T-0) &= 3E+06 \\ T &= 543 \text{ K} \\ &= 270 ^\circ\text{C} \\ H_{\text{cond}} &= 3E+06 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Neraca panas total			
H in (kJ/jam)		H out (kJ/jam)	
H masuk	3413510.350	H keluar	3243208.562
		Q loss	170301.787

Total	3413510.350	Total	3413510.350
--------------	--------------------	--------------	--------------------

7. Heater (E-136)

Fungsi : Memanaskan larutan garam sebelum menuju membran



$T_{ref} = 298$

Enthalpy bahan masuk :

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dt	Mol	(Kkal)
NaOH	4578.336	0.0575	114.5	263.25432
Air	4579.336	4.9885	254.4	22844.018
Total	9155.2294			23104.633

Enthalpy bahan keluar :

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dt	Mol	(Kkal)
NaOH	4578.336	0.161	114.5	737.1121
Air	4579.336	13.9678	254.4	63963.249
Total	9157.672			64700.361

Neraca Panas Total:

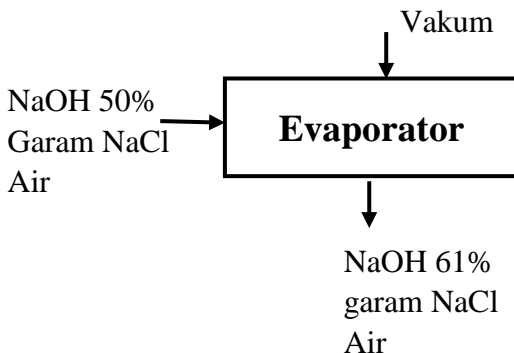
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 0.05 \text{ Supply} \\
 \text{input} &= 23104.633 \\
 \text{output} &= 64700.361
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{input} + Q_{\text{supply}} &= \text{output} + Q_{\text{loss}} \\
 0.95 Q_{\text{supply}} &= 41592.99745 \\
 Q_{\text{supply}} &= 43782.10258 \\
 Q_{\text{loss}} &= 2189.105129
 \end{aligned}$$

Input	Jumlah	Output	Jumlah
input	23104.633	output	64700.36148
Qsupply	43782.103	Qloss	2189.105129
Total	66886.74	Total	66886.74

8. Single Effect Evaporator

Fungsi : Menguapkan NaOH dari 50 % menjadi 61% dengan keadaan vakum (*O'brien*)



Tabel A.8 Komponen Bahan Masuk

Komponen	Berat	
NaCl	1.4575	kg
air	4576.42	kg
NaOH	4576.4	kg
Total	9154.2775	kg

Dimana :

$$F = 9154.2775$$

$$XF = 0.5$$

$$XL1 = 0.61$$

Neraca massa overall di evaporator

$$F = L + V$$

Neraca per komponen

$$F \times XF = L \times XL1$$

$$4577.13875 = L \times 0.61$$

$$L = 7503.5061 \text{ kg/h}$$

$$F = L + V$$

$$9154.2775 = 7503.5061 + V$$

$$V = 1650.771352$$

Keterangan :

$$T1 = 350.27 \text{ K}$$

$$Hv = 2638.66 \text{ btu/lbm}$$

$$T2 = 312 \text{ K}$$

Neraca energi total :

$$m \times cp \times T + S \times Hs = L \times HL + V \times Hv$$

$$9154.2775 (4.14) (350.27-312) + S(2230) = 7503.5061$$

$$+ 1650.7714 \quad 2638.66$$

$$S = 2912944.255$$

$$Q = S()$$

$$= 1804407136 \quad W$$

$$Q = U A \quad T$$

$$1.804E+09 = 1704 (A) \times 38.27$$

$$A = 40525035.85$$

Perhitungan Neraca Energi Total :

Neraca Panas Effect Evaporator 1

Tabel B.4 Perhitungan Masuk

komponen	Massa	Cp	
NaOH	4576.4	98.21	449448.244
Air	4578.8294	8528.898	39052368.912
Total	9155.2294		39501817.16

$$Q_{\text{steam}} = S X$$

$$= 12800.9 \times 2120.40$$

$$= 27143028 \quad \text{kJ}$$

$$= 1058741 \quad \text{kkal}$$

$$\text{Entalpi masu} = 39501817 + 1058740.964$$

$$= 40560558.12 \quad \text{kkal}$$

Tabel B.4 Perhitungan Keluar

komponen	Massa	Cp	
-----------------	--------------	-----------	--

NaOH	4578.336	0.161	737.1121
Air	2927.1329	13.9818	40926.587
Total			223793.58

$$\begin{aligned}
 \text{Vapor} &= V1 \times H1 \\
 &= 35878148.23 \\
 &= 8575092.7 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

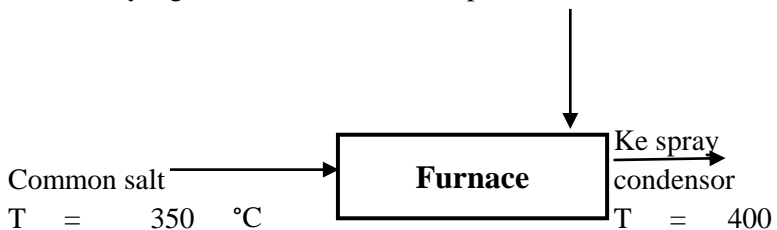
$$\begin{aligned}
 \text{Entalpi yang kelu} &= 2804686.3 + 9008753 \\
 &= 8798886.3 \text{ kj}
 \end{aligned}$$

Neraca Energi Total

H in (kal)			H out (kal)		
	Feed	39501817.16		prod	223793.5825
	Steam	1058740.964		vap	8575092.696
	Total	40560558			40560558

9. Furnace

Fungsi : Sebagai Pembakaran untuk memanaskan NaCl yang masuk dalam flash evaporator.



Tref = 298

Enthalpy bahan masuk :

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dt	Mol	(Kkal)
NaOH	4578.336	0.598	114.46	2737.84493
Air	4579.336	51.8804	254.41	237577.783
Total	9155.2294			23104.6335

Enthalpy bahan keluar :

Komponen	Massa (Kg)	Cp.dt	Mol	(Kkal)
NaOH	4578.336	0.161	114.46	737.112096
Air	4579.336	13.9678	254.41	63963.2494
Total	9157.672			64700.3615

Neraca Panas Total:

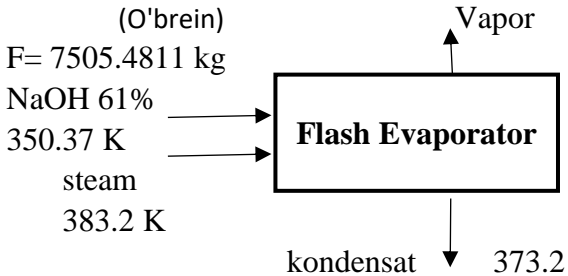
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 0.05 \text{ Supply} \\
 \text{input} &= 23104.63346 \\
 \text{output} &= 64700.36148
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{input} + Q_{\text{supply}} &= \text{output} + Q_{\text{loss}} \\
 0.95 Q_{\text{supply}} &= 41592.99745 \\
 Q_{\text{supply}} &= 43782.10258 \\
 Q_{\text{loss}} &= 2189.105129
 \end{aligned}$$

Input	Jumlah	Output	Jumlah
input	23104.6335	output	64700.36148
Qsupply	43782.1026	Qloss	2189.105129
Total	66886.74	Total	66886.74

10. Flash Evapoator

Fungsi : menguapkan NaOH dari 61% menjadi 98%



Dimana, F = 7505.4811

XF = 0.61

XL1 = 0.98

Neraca Massa Overall di evaporator :

$$F = L + V$$

Neraca per komponen

$$F \times XF = L \times XL1$$

$$4578.3435 = L \times 0.98$$

$$L = 4671.779052 \text{ kg/h}$$

$$F = L + V$$

$$7505.4811 = 4671.7791 + V$$

$$V = 2833.702048$$

Keterangan :

$$T1 = 355 \text{ K}$$

$$Hv = 2676.1 \text{ btu/lbm}$$

$$T2 = 350.37 \text{ K}$$

Neraca energi total :

$$m \times c_p \times T + S \times H_s = L \times HL + V \times H_v$$

$$34750.377 + (4.14) (350.27-312) + S(2230) =$$

$$+ 2833.702 + 2676.1$$

$$S = 6917167.865 \text{ kg steam/h}$$

$$Q = S(\quad)$$

$$= 4284801205 \text{ W}$$

$$Q = U A \Delta T$$

$$4.285E+09 = 1704 (A) \times 38.27$$

$$A = 96232008.29$$

Perhitungan Neraca Energi Total :

Neraca Panas Effect Evaporator 1

Tabel B.4 Perhitungan Masuk

komponen	Massa	Cp	
NaOH	4578.336	0.602255	2757.326
Air	2927.1329	52.301919	153094.668
Total	7505.4689		155876.4922

$$Q_{\text{steam}} = S \times$$

$$= 12800.9 \times 2120.40$$

$$= 27143028 \text{ kj}$$

$$= 1058741 \text{ kkal}$$

$$\text{Entalpi masu} = 155876.49 + 1058740.964$$

$$= 1214617.456 \text{ kkal}$$

Tabel B.4 Perhitungan Keluar

komponen	Massa	Cp	
NaOH	4578.336	0.598	2737.8449
Air	93.4354	51.9324	4852.3246
Total			11011.393

$$\begin{aligned}\text{Vapor} &= V1 \times H1 \\ &= 35878148.23 \\ &= 8575092.7 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Entalpi yang kelu} &= 2804686.3 + 9008753 \\ &= 8586104.1 \text{ kj}\end{aligned}$$

Energi Total

H in (kal)		H out (kal)	
Feed	155876.49	prod	11011.39326
Steam	1058741	vap	8575092.696
Total	1214617		1214617

APPENDIKS C SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas produksi	=	37000	Ton/tahun
Waktu operasi	=	24	jam/hari
Satuan massa	=	kg/jam	
Satuan energi	=	kal (kalori)	

1. Bin Penyimpan NaCl (F-110)

Fungsi : Menyimpan padatan NaCl

Jumlah : 1 buah

Bentuk : Silinder tegak dengan alas berbentuk konis dan tutup datar

Kondisi operasi

Temperatur, T	=	30	°C
Tekanan, P	=	1 atm	= 14.7 psi
Waktu tinggal, t	=	1 hari	= 24 jam
Rate massa, F	=	998.70604	kg/jam
	=	2201.7473	lb/jam
Densitas, ρ	=	1208.7	kg/m ³ = 75.459141 lb/ft ³
Rate volumetrik, v0	=	$\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$	
	=	$\frac{2201.747339}{75.459141}$	
	=	29.178007 ft ³ /jam	
Volume bahan, V	=	rate volumetrik x waktu tinggal	
	=	29.2	x 24
	=	700 ft ³	
Bahan akan menempati 80% volume tangki			
Volume tangki	=	Volume fluida : 80%	
	=	700	: 0.8
	=	875 ft ³	

Menentukan ukuran tangki

Perbandingan D/H = 0,5-1,5. Dipakai 0,5

(Ulrich)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki, } V_s &= \frac{\pi \times D^2 \times H}{4} \\
 &= \frac{\pi \times D^2 \times 2D}{4} \\
 &= 1.57 D^3 \\
 \text{Volume konis, } V_k &= \frac{0.131 D^3}{\tan \alpha} \\
 &= \frac{0.131 D^3}{\tan 30} = 0.2268791 D^3
 \end{aligned}$$

$$V_t = V_s + V_h + V_k$$

$$\begin{aligned}
 875.3402 &= (1.57 + 0 + 0.23) D^3 \\
 875.3402 &= 1.8 D^3 \\
 D^3 &= 487.14474 \text{ ft}^3 \\
 D &= 7.87 \text{ ft} \\
 H &= 15.7 \text{ ft} \\
 &(\text{Dipakai tinggi standar 16 ft})
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tangki

$$\begin{aligned}
 \text{Bahan konstruksi} &= \text{Stainless steel 316} \\
 \text{Jenis las} &= \text{Double welded butt joint} \\
 \text{Allowable stress} &= 15900 \\
 E &= 0.80 \\
 \text{Faktor korosi} &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal shell, } t_s &= \frac{P_d \times D_i}{2 f E} + C \\
 \text{Tekanan optimum, } P_{op} &= \rho H \\
 &= \frac{\rho H}{144} \\
 &= \frac{67.39H}{144} \\
 &= 0.52 H \text{ psi} \\
 \text{Tekanan desain, } P_d &= 1.2P \\
 &= 1.2 \times 0.84 H \text{ psi} \\
 &= 0.63 H \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Tinggi bejana 16 ft, sehingga terdapat 2 course

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{1.01H (6.9 \times 12) + 0}{2 \times 15900 \times 0.8} \\
 &= 0.002 H \\
 t_s \text{ course 1} &= 0.004H = 0.04 \text{ in} \\
 t_s \text{ course 2} &= 0.004H = 0.02 \text{ in} \\
 &(\text{dipakai tebal standar } 3/16 \text{ in})
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal alas (konis)

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal tutup konis, } t_k &= \frac{P \times D}{2 \cos \alpha (f.E - 0.6P)} + C \\
 &= \frac{(18.20 \times 16) \times (11.92 \times 12)}{2 \cos 30 (15900 \cdot 0.8 - 0.6 \times 18.20 \times 16)} \\
 &= 0.04 \text{ in} \\
 &(\text{dipakai tebal standar } 3/16 \text{ in})
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup (datar)

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal tutup datar, } t_h &= C \times D_i \times \sqrt{P_i} \\
 &= 0.45 \times 11.92 \times \sqrt{(18.20 \times 16)} \\
 &(\text{dipakai tebal standar } 1 \text{ in}) = 0.81 \text{ in}
 \end{aligned}$$

11. MEMBRAN

Fungsi : Mengubah larutan NaCl menjadi NaOH

Tipe : Bipolar

Dasar Pemilihan :

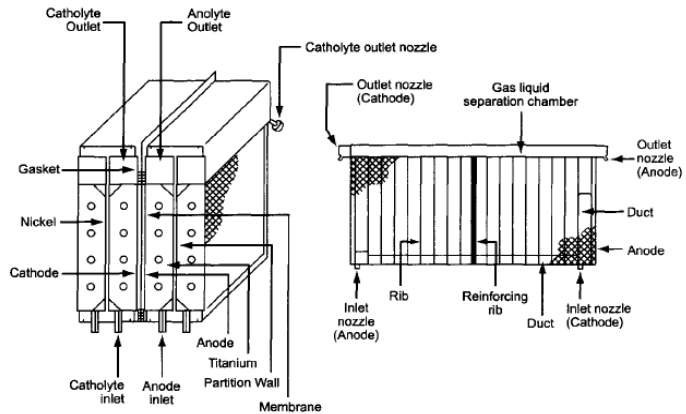


FIGURE 5.24. Schematic of Asahi Kasei's ML32NC and ML60NC cells. (With permission from Asahi Ka Chemicals.)

Tekanan Operasi = 20 psi
Current Density = 3 kA m^{-2}
Konsumsi Energi = 2100 kW hr/ton

Outside Dimensions

Length = 2,59 m
Height = 1,32 m
Jarak tiap cell = 15,2 cm
Jumlah frame = 180
Pan thickness = $>2,5$
Ukuran Elektrode = $2,7 \text{ m}^2$

Gasket

Anoda gasket PTFE

Katoda gasket EPDM

asci

12. EVAPORATOR EFEK 1

Fungsi : Memekatkan larutan NaOH menjadi 36%

Tipe : *Standard Vertical Tube Evaporator*

Dasar Pemilihan : *heat sensitive materials*
panas ekonomis

Bahan Konstruksi : Stainless Steel SA-240 grade A

Dari Appendix

$$Q = 29420,43 \text{ kkal/jam} = 116671,72 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Suhu Masuk} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} = 212 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu Keluar} = 69 \text{ }^{\circ}\text{C} = 156 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 55,8 \text{ F}$$

Ukuran tube ditetapkan sebagai berikut :

$$\text{Panjang tube (L)} = 13 \text{ ft} \quad (\text{Hugot Table 32.6, Hal 843})$$

$$\text{Diameter} = 1,5 \text{ in BWG 18}$$

$$\text{Pitch} = 1,88 \text{ in}^2$$

Dari Kern, table 10 Hal 843 didapatkan:

$$\text{Flow area (a')} = 1,5 \text{ in}^2$$

$$= 0,1 \text{ ft}^2$$

$$\text{Surface (a'')} = 0,4 \text{ ft}^2 / \text{ft}$$

$$\text{ID} = 1,4 \text{ in}$$

$$= 0,1 \text{ ft}$$

$$A = 19,4 \text{ m}^2$$

$$= 209 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tube, Nt} &= \frac{A'}{a'' \times L} \\ &= \frac{208,82}{0,4 \times 13} \\ &= 41 \text{ buah} \end{aligned}$$

Menghitung dimensi silinder evaporator :

Akan direncanakan menggunakan material: Stainless Steel
dengan tutup atas dan bawah berbentuk *standart dish head*

Bahan yang digunakan : *Stainless Steel*

Type bahan : *SA-240 grade A type 410*

Maka didapatkan :

$$f = 15600 \quad (\text{Tabel 13.1 Brownell \& Young})$$

$$E = 0,8 \quad (\text{Tabel 13.2 Brownell \& Young})$$

$$C = 0 \quad (\text{Stainless steel dia asumsikan } = 0)$$

Dimensi Evaporator

$$A = N_t \times a'$$

$$= 41 \times 0,1 = 5,32$$

$$D_{\text{evap}} = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$= 7,22 \text{ ft} = 2,2 \text{ m}$$

Tinggi evaporator berdasarkan dimensi ratio

$$\text{Asumsi, } H/D = 2$$

$$H = 14,4 \text{ ft}$$

Diameter Centerwall : Asumsi 6-24 ft

$$\text{Asumsi, } D_{\text{cw}} = 1 \times D_{\text{evap}}$$

$$= 1 \times 7,221$$

$$= 7,22 \text{ ft}$$

Tebal Shell berdasarkan ASME Code untuk Cylindrical Tank

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0,6P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254}]$$

dengan : t_{\min} = tebal shell minimum; in
 P = tekanan tangki ; psi
 r_i = jari-jari tangki ; in ($\frac{1}{2} D$)
 C = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)
 E = faktor pengelasan, digunakan double welded, $E = 0,8$

Bahan konstruksi shell : dianjurkan campuran alloy Carbon steel dengan Nickel
 (Vilbrandt , tabel 4 - 4)

Dari B & Y didapat bahan konstruksi = Carbon steel SA - 203 Grade C ($2\frac{1}{2}$ Ni)

$$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = 1 \text{ atm} = 14,696 \text{ psi}$$

$$\text{Tekanan Total} = 29,4 \text{ psi}$$

$$P \text{ design diambil } 10\% \text{ lebih besar dari } P_{\text{operasi}} \text{ untuk faktor keamanan}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,1 \times 29,4$$

$$= 32,3 \text{ psi}$$

$$R = \frac{1}{2} D$$

$$= 26,1 \text{ ft} = 313 \text{ in}$$

$$t_{\min} = 0,8 \text{ in} \quad (\text{digunakan } t=1 \text{ in})$$

Tebal conical dishead (bawah)

$$\text{Tebal conical} = \frac{P.D}{2 \cos \alpha (fE - 0,6P)} + C$$

dengan :

$$\alpha = \frac{1}{2} \text{ sudut conis} = \frac{1}{2} \times 60^\circ = 30^\circ$$

Bahan konstruksi *shell* : dianjurkan bahan campuran

Alloy carbon steel dengan *Nickel*

Bahan konstruksi : SA-203 Grade C

$$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$$

$$t_c = 3,4 \text{ in}$$

$$= 4 \text{ in}$$

Spesifikasi efek 1

$$\text{Diameter Centerwall} = 7,22 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter Evaporator} = 7,22 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi Shell} = 14,4 \text{ ft}$$

$$\text{Tebal Shell} = 1 \text{ in}$$

$$\text{Tebal Tutup} = 4 \text{ in}$$

Tube Calandria

$$\text{Ukuran} = 1,5 \text{ in BWG 18}$$

$$\text{OD} = 1,5 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 0,1 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang Tube} = 13 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah Tube} = 41 \text{ buah}$$

$$\text{Bahan Konstruksi} = \text{Carbon Steel SA-203 Grade C (2}^{1/2} \text{ Ni)}$$

$$\text{Jumlah Evaporator} = 1 \text{ buah}$$

13. EVAPORATOR EFEK 2

$$\begin{aligned} Q &= 6855164,86 \text{ kkal} &= 285631,8692 \text{ kkal/jam} \\ & &= 1132721,73 \text{ btu/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu Masuk} = 69 \text{ }^{\circ}\text{C} = 156 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu Keluar} = 46 \text{ }^{\circ}\text{C} = 115 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 41,4 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Ukuran tube ditetapkan sebagai berikut :

$$\text{Panjang tube (L)} = 11 \text{ ft} \quad (\text{Hugot Table 32.6, Hal 843})$$

$$\text{Diameter} = 1,5 \text{ in BWG 18}$$

$$\text{Pitch} = 1,9 \text{ in}^2$$

Dari Kern, table 10 Hal 843 didapatkan:

$$\text{Flow area (a')} = 1,5 \text{ in}^2$$

$$= 0,1 \text{ ft}^2$$

$$\text{Surface (a'')} = 0,4 \text{ ft}^2 / \text{ft}$$

$$\text{ID} = 1,4 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,1 \text{ ft}^2 \\
 A' &= 27,2 \text{ m}^2 \\
 &= 293 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tube, } N_t &= \frac{A'}{a' \times L} \\
 &= \frac{293,21}{0,4 \times 11} \\
 &= 68 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dimensi Evaporator

$$\text{Luas Penampang, } A = N_t \times a' = 8,83 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi Evaporator } D_{\text{evap}} &= \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \\
 &= 3,4 \text{ ft} = 1,0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tinggi evaporator berdasarkan dimension ratio

$$\begin{aligned}
 \text{asumsi, } H/D &= 2 \\
 H &= 6,7 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Diameter Centerwall: Asumsi 6-24 ft

$$\begin{aligned}
 \text{asumsi, } D_{\text{cw}} &= 1 \times D_{\text{evap}} \\
 &= 1 \times 3,35386 \\
 &= 3,4 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimal shell

Tebal shell berdasarkan ASME Code untuk Cylindrical Tank

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0,6P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254}]$$

dengan :

- t_{\min} = tebal shell minimum; in
- P = tekanan tangki ; psi
- r_i = jari-jari tangki ; in ($\frac{1}{2} D$)
- C = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)
- E = faktor pengelasan, digunakan double welded, $E = 0,8$

Bahan konstruksi shell : dianjurkan campuran alloy Carbon steel dengan Nickel (Vilbrandt , tabel 4 – 4)

Dari B & Y didapat bahan konstruksi = Carbon steel SA – 203 Grade C (2½ Ni)

$$\begin{aligned}
 f_{\text{allowance}} &= 18750 \text{ psi} \\
 P_{\text{operasi}} &= 0,3 \text{ atm} = 4,41 \text{ psi} \\
 \text{Tekanan total} &= 19,1 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned}
 P_{\text{desain}} &= 1,1 \times 19,1 \\
 &= 21 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= 1/2 D \\
 &= 5,62 \text{ ft} = 67,5 \text{ in} \\
 t_{\min} &= 0,2 \text{ in} \quad (\text{digunakan } t=1/5)
 \end{aligned}$$

Tebal conical dishead (bawah)

$$\text{Tebal conical} = \frac{P.D}{2 \cos \alpha (fE - 0,6P)} + C$$

dengan :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 1/2 \text{ sudut conis} \\
 &= 1/2 \times 60^\circ = 30^\circ
 \end{aligned}$$

Bahan konstruksi shell : dianjurkan bahan campuran alloy carbon steel dengan nickel

Bahan konstruksi : SA-203 Grade C

$$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}
 t_c &= 0,13 \text{ in} \\
 &= 1/2 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi efek 2

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter Centerwall} &= 3,4 \text{ ft} \\
 \text{Diameter Evaporator} &= 3,4 \text{ ft} \\
 \text{Tinggi Shell} &= 6,7 \text{ ft} \\
 \text{Tebal Shell} &= 1/5 \text{ in} \\
 \text{Tebal Tutup} &= 1/2 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Tube Calandria

$$\begin{aligned}
 \text{Ukuran} &= 1,5 \text{ in BWG 18} \\
 \text{OD} &= 1,5 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 0,1 \text{ ft} \\
 \text{Panjang Tube} &= 11 \\
 \text{Jumlah Tube} &= 68 \\
 \text{Bahan Konstruksi} &= \text{Carbon Steel SA-203 Grade C (2}^{1/2} \text{ Ni)} \\
 \text{Jumlah Evaporator} &= 1 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

14. EVAPORATOR EFEK 3

$$\begin{aligned}
 Q &= 8299834,69 \text{ kkal} = 345826,4454 \text{ kkal/jam} \\
 &= 1371433,56 \text{ btu/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Suhu Masuk} = 46^\circ \text{C} = 115^\circ \text{F}$$

$$\text{Suhu Keluar} = 76^\circ \text{C} = 169^\circ \text{F}$$

$$\Delta T = 54 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Ukuran tube ditetapkan sebagai berikut :

$$\text{Panjang tube (L)} = 10 \text{ ft} \quad (\text{Hugot Table 32.6, Hal 843})$$

$$\text{Diameter} = 15 \text{ in BWG 18}$$

$$\text{Pitch} = 1,9 \text{ in}^2$$

Dari Kern, table 10 Hal 843 didapatkan:

$$\text{Flow area (a')} = 1,5 \text{ in}^2$$

$$= 0,1 \text{ ft}^2$$

$$\text{Surface (a'')} = 0,4 \text{ ft}^2 / \text{ft}$$

$$\text{ID} = 1,4 \text{ in}$$

$$= 0,1 \text{ ft}^2$$

$$A' = 3,23 \text{ m}^2$$

$$= 34,8 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tube, Nt} &= \frac{A'}{a' \times L} \\ &= \frac{34,77}{0,4 \times 10} \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dimensi Evaporator

$$\text{Luas Penampang, A} = Nt \times a' = 1,15 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Dimensi Evaporator } D_{\text{evap}} &= \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \\ &= 1,2 \text{ ft} = 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi evaporator berdasarkan dimension ratio

$$\text{asumsi, } H/D = 2$$

$$H = 2,4 \text{ ft}$$

Diameter Centerwall: Asumsi 6-24 ft

$$\begin{aligned} \text{asumsi, } D_{\text{cw}} &= 1 \times D_{\text{evap}} \\ &= 1 \times 1,21131 \\ &= 1,2 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimal shell

Tebal shell berdasarkan ASME Code untuk Cylindrical Tank

$$t_{\text{min}} = \frac{P \times r_i}{fE - 0,6P} + C \quad [\text{Brownell, pers.13-1, hal.254}]$$

dengan : t_{min} = tebal shell minimum; in

P = tekanan tangki ; psi

r_i = jari-jari tangki ; in ($\frac{1}{2}$ D)

C = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan, digunakan double welded, E = 0,8

Bahan konstruksi shell : dianjurkan campuran alloy Carbon steel dengan Nickel
(Vilbrandt, tabel 4-4)

Dari B & Y didapat bahan konstruksi = Carbon steel SA-203 Grade C (2½ Ni)

$$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = 0,3 \text{ atm} = 4,41 \text{ psi}$$

$$\text{Tekanan total} = 19,1 \text{ psi}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 1,1 \times 19,1 \\ &= 21 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= 1/2 D \\ &= 0,73 \text{ ft} = 8,8 \text{ in} \end{aligned}$$

$$t_{\text{min}} = 0,1 \text{ in} \quad (\text{digunakan } t=1/5)$$

Tebal conical dishead (bawah)

$$\text{Tebal conical} = \frac{P.D}{2 \cos \alpha (fE - 0,6P)} + C$$

dengan :

$$\begin{aligned} \alpha &= 1/2 \text{ sudut conis} \\ &= 1/2 \times 60^\circ = 30^\circ \end{aligned}$$

Bahan konstruksi shell : dianjurkan bahan campuran alloy carbon steel dengan nickel

Bahan konstruksi : SA-203 Grade C

$$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$$

$$t_c = 0,13 \text{ in}$$

$$= 1/5 \text{ in}$$

Spesifikasi efek 3

$$\text{Diameter Centerwall} = 1,2 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter Evaporator} = 1,2 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi Shell} = 2,4$$

$$\text{Tebal Shell} = 0,1 \text{ in}$$

$$\text{Tebal Tutup} = 1/2 \text{ in}$$

Tube Calandria

$$\text{Ukuran} = 1,5 \text{ in BWG 18}$$

$$\text{OD} = 1,5 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 0,1 \text{ ft}$$

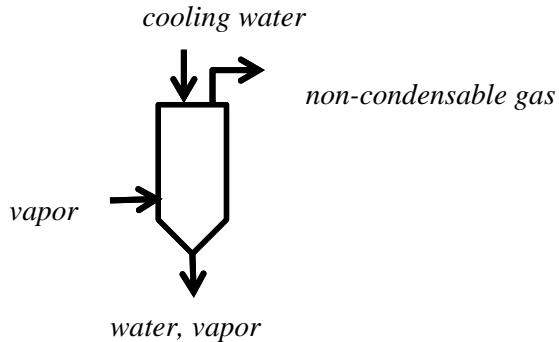
Panjang Tube	=	12 ft
Jumlah Tube	=	9
Bahan Konstruksi	=	Carbon Steel SA-203 Grade C (2 ^{1/2} Ni)
Jumlah Evaporator	=	1 buah

15. BAROMETRIC CONDENSOR

Fungsi = Mengkondensasi uap air yang keluar dari evaporator dan menjaga tekanan evaporator

Tipe = *Counter-current dry air condensor*

Bahan = *Carbon Steel SA-283 grade B*



$$T_{\text{cooling water}} = 303 \text{ K} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{vapor}} = 319 \text{ K} = 46^{\circ}\text{C}$$

Menghitung kebutuhan *cooling water*

$$T_{s3} = 319,3 \text{ K} = 46,13^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_s = 2333,66 \text{ kJ/kg}$$

$$V_3 = 14285,5 \text{ kg/jam}$$

Panas laten yang ditransfer ke kondensor

$$= V_3 \times \lambda_s$$

$$= 14285,5 \times 2333,66$$

$$= 33337500 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Rate uap} = 14285,5 \text{ kg uap/jam} = 31493,81 \text{ lb uap/jam}$$

$$= 8,43 \text{ cuft/min}$$

$$\text{Rate cooling water} = 26445,61 \text{ kg air/jam} = 58302$$

$$T_{\text{cooling water}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{\text{cooling water}} = 995,7 \text{ kg/m}^3 = 62,2 \text{ lb/ft}^3$$

Luas penampang condenser, S :

$A = 1,7 \text{ ft}^2/\text{ton}$ uap yang akan diembunkan tiap jam

$$A = \frac{1,7}{1000} \times 14286 = 24,29 \text{ ft}^2$$

Diameter condenser :

$$A = \pi/4 \times D^2$$

$$A = 0,8 \times D^2$$

$$24 = 0,8 \times D^2$$

$$D^2 = 31$$

$$D = 5,6 \text{ ft}$$

$$= 67 \text{ in}$$

$$\text{OD} = \text{in}$$

Diameter kolom barometrik

Kecepatan air dalam kolom barometrik

$$V = a (2 \cdot g \cdot h)^{0,5} \quad (\text{Hugot, pers. 40.2, Hal 861})$$

dimana:

V = kecepatan air masuk (ft/s)

a = Koefisien yang tergantung pada panjang pipa, valve dan lain-lain. Umumnya 0,5

h = Tinggi masukan air dingin pada *body condensor* = 10 ft

$$\begin{aligned} V &= 0,5 \times (2 \times 32,16 \times 10)^{0,5} \\ &= 13 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

Diameter pipa air pendingin

$$D = (4 Q_L / \pi V)^{0,5}$$

dimana:

D = Diameter pipa air pendingin (ft)

Q_L = Laju alir (ft³/s)

$$Q_L = \frac{m}{\rho} = \frac{58302}{62,20} = 937,3 \text{ ft}^3/\text{jam} = 0,26 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$D = \left(\frac{4 \times 0,26}{3,1 \times 13} \right)^{0,5}$$

$$= 0,16 \text{ ft} = 1,94 \text{ in}$$

Ukuran pipa air pendingin standar yang dipakai = 2 in sch 80 ft

Perhitungan Tinggi *Barometric Leg* :

$$H = H_c + h + s$$

(Hugot pers 40.19, hal 881)

dimana:

H = Tinggi kolom *barometric*

H_c = Tinggi air karena kevakuman maksimum dalam kondensor

h = *Head* air untuk menjaga aliran dalam kolom agar mempunyai kecepatan tetap v

s = Batas keamanan (*margin of safety*)

a) Perhitungan H_o

Digunakan batas bawah utk suhu = 30 °C

Vacuum maximum = 28,700 = 73 cmHg (tropis)

Batas yang diperlukan untuk menjaga Batas yang diperlukan untuk menjaga kenaikan tekanan barometrik:

$$P_{\max} = 30,7 \text{ inHg} = 78 \text{ cmHg} \quad (\text{Hugot, hal 881})$$

$$\rho_{\text{air}}(30^\circ\text{C}) = 996 \text{ kg/m}^3 = 0,996 \text{ g/cm}^3$$

spesifik volume air pada 30°C :

$$V_g = \frac{1}{\rho} = 1,004 \text{ m}^3/ \quad (\text{Hugot, hal 881})$$

$$H_o = 10,33 + \frac{73}{1,004} \times 1,004 + \frac{78}{1,004}$$

$$= 10,22 \text{ m} = 33,54 \text{ ft}$$

b) Perhitungan h

$$h = (1 + \alpha) \frac{V^2}{2g}$$

dimana: h = *head* air untuk menjaga aliran dalam kolom pada kecepatan v, ft

v = kecepatan aliran dalam kolom, ft/s

g = percepatan gravitasi = 32,16 ft/s²

Untuk diameter kolom, D = 1,941 in

α = 6,1 Straight Coloumn

(Hugot table 40.19, hal 881)

$$\begin{aligned} h &= (1 + \alpha) \frac{V^2}{2g} = \frac{160,80}{64,32} \times 7,1 \\ &= 18 \text{ ft} \\ &= 5,4 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Perhitungan s

Batas keamanan, s:

$$s = 1,5 \text{ ft} = 0,5 \text{ m} \quad (\text{Hugot pers 40.21, hal 881})$$

Jadi, tinggi kolom barometric (H) :

$$\begin{aligned} H &= H_0 + h + s \\ &= 33,54 + 17,8 + 1,5 \\ &= 52,79 \text{ ft} = 16,09 \text{ m} \end{aligned}$$

Fungsi	= Mengkondensasikan uap dari Evaporator
Type	= <i>Counter-current dry air condensor</i>
Jumlah	= 1 buah
Bahan	= <i>Carbon Steel SA-283 grade B</i>

Rate Bahan	=	14286	kg uap/jam
Luas penampang condenser	=	24,285	ft ²
Diameter condenser	=	66,7	in
Jumlah air pendingin	=	1190,5	kg CW/jam
Kevakuman maksimum	=	149,8	mmHg
Diameter kolom barometrik	=	2,0	ft
Batas keamanan	=	2	ft
Tinggi kolom barometrik	=	11,220	ft

16. STEAM JET EJECTOR

Fungsi : Menarik gas-gas yang tidak terkondensasi pada barometric condenser

Material : *Stainless steel SA 283 grade A*

Jumlah : 1 buah

Tekanan Vacuum Tangki = 28,70 in Hg abs

Suhu vapor, $T_v = 30\text{ }^{\circ}\text{C} = 86\text{ }^{\circ}\text{F}$

Tekanan Vapor pada $85\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} P &= 7,25 \text{ psia} = 374,93 \text{ mmHg} \\ &= 14,7611 \text{ inHg} \end{aligned}$$

Pounds of water vapor per pound of air

(*Ludwig, Fig. 6-20C, hal 364*)

Mencari W_v'

$$W_v' = 0,62 \times \frac{P_v}{P_a} = 0,01$$

$T_v = T_{\text{suction}} - \text{Serving dry air}$

$$= 86 - 3 \quad (\text{Ludwig, table 6.6})$$

$$= 83$$

$P_v = 7,5 \text{ in}$ (*Geankoplis, A.29*)

Sehingga, $W_v' = 0,01 \text{ lb uap air/ lb udara}$

Recommended udara kering = 3 lb/jam

(*Ludwig vol 1, hal 367-368*)

Total uap air = $W_a \times W_v'$

$$= 3 \times 0,01$$

$$= 0,0 \text{ lb/jam}$$

Total campuran uap ke ejector = 0,0 + 3

$$= 3,0 \text{ lb/jam}$$

Pemilihan ukuran Jet Ejector :

(*Ludwig, Fig. 6-26A, hal 373*)

Kebutuhan steam = 14687 lb/jam

Panjang = 4,3 in

Diameter pemasukan (suction) :

$$D_1 = 2(W_{v1} / P_1)^{0,48}$$

dimana :

W_{v1} = kapasitas design ejector , lb/jam

P_1 = tekanan bagian masuk, mmHg

$$\begin{aligned} D_1 &= 2 \times (0,0 / 375)^{0,48} \\ &= 0,0128 \text{ in} \end{aligned}$$

Diameter bagian luar (discharge)

$$D_2 = 0,75 D_1$$

$$D_2 = 0,010 \text{ in}$$

Suhu steam = 82 °C = 180 °F

Tekanan steam = 50 kPa = 7,3 psig

Pada Ps. = 21,952 psia

$F = 1,1$ (Steam Pressure Factor)

(Ludwig, Fig. 6.26B, hal 373)

Kebutuhan steam sebenarnya (Ws)

$$= 14687 \times 1$$

$$= 14687 \text{ lb/jam}$$

$$= 6661,88 \text{ kg/jam}$$

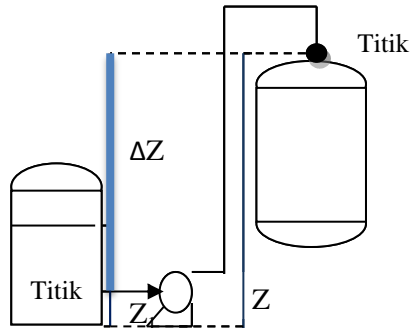
Spesifikasi Alat Steam Jet Ejector

Spesifikasi	Keterangan
No. kode	G-231
Fungsi	Untuk memberikan kondisi vakum dan menarik uap dari barometrik kondensor
Tipe	Steam Jet Ejector
Kapasitas	0,01 lb/jam

Konstruksi	Carbon Steel
Diameter	0,014 in
Jumlah	1 buah

17. POMPA

Fungsi : Memompa larutan dari kation exchanger ke anion exchanger



$$\text{Massa Jenis NaCl} = 1,19 \text{ g/cm}^3 = 74,6 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas} = 2 \text{ cp} = 0 \text{ lb/ft.s}$$

$$\text{Rate masuk} = 106655 \text{ kg/jam} = 235134 \text{ lb/jar} = 65 \text{ lb/s}$$

$$\text{Rate volumetrik} = m_v = 0,9 \text{ ft}^3/\text{s} = 393,1 \text{ gal/min}$$

Asumsi Aliran Turbulen

$$\text{Di optimum} = 3.9 \times (Q)^{0.45} \times (\rho)^{0.13} = 3.9 \times (0.1201)^{0.45} \times (54.938)^{0.13}$$

$$= 6,44 \text{ in} = 0,2 \text{ m}$$

digunakan pipa 8 in sch 40

(geankoplis, Appendiks A.5)

dari Appendiks A.5 Geankoplis didapat :

$$\text{Inside Diametre} = 8 \text{ in} = 0,2 \text{ m} = 0,665 \text{ ft}$$

$$\text{Luas area} = 0,3 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan Alir} = Q/A = 0.1201/\text{s} = 2,5 \text{ ft/s} = 0,8 \text{ m/s}$$

$$\text{NRe } \frac{\rho \times D \times v}{\mu}$$

$$= 93042$$

Perhitungan Friksi

1. Friksi Sudden Contraction

friksi yang terjadi karena adanya perpindahan dari luas penampang besar ke luas penampang kecil

diketahui luas lingkaran A1 lebih besar dibanding dengan luas lingkaran pipa, maka $A_2/A_1 = 0$

asumsi aliran turbulen maka $\alpha = 1$

$$k_c = 0,6 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,6 (1 - 0) = 0,6$$

$$h_c = \frac{K_c \times v^2}{2\alpha}$$

$$k_c = 0,6$$

$$h_c = (0,55 \times 2,52^2) / 2$$
$$= 1,7 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pipa lurus

Panjang pipa lurus di 25 m

Bahan pipa adalah commercial steel

dengan $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$ (geankoplis pg. 94)

$$\epsilon/D = \frac{5 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,2027 \text{ m}} = 0,00023$$

Dari geankoplis Fig 2.20-3 diperoleh $f = 0.005$

$$F_f = \frac{4 f \times v^2 \times L}{2 \times D}$$

$$= (4 \times 0 \times 0,77^2 \times 25) / (2 \times 0,2)$$
$$= 0,7 \text{ J/kg}$$

3. Friksi karena belokan dan valve

diketahui K_f aliran turbulen (geankoplis tabel 2.10-1 pg.99)

elbow $\theta = 0,8$ (digunakan 3 elbow)

globe $v_i = 9,5$

$$k_f v_a = 3 (K_f \times v^2)/2 + (K_f \times v^2)/2$$

$$H_f = 0,8$$

$$= 9,5$$

$$= 3 \times (0,8 \times 0,77^{1/2}) + (9,5 \times 0,8^{1/2})$$

$$= 3,5 \text{ J/kg}$$

4. Friksi Karena Ekspansi

$$h_e = \frac{K_{ex} \cdot v^2}{2a}$$

$$k_e = (1 - A_1/A_2, A_1/A_2 \text{ dianggap } 0 \text{ karena } A_2 \text{ tak terhingga})$$

$$h_e = (1 \times 0,8^{1/2} / (2 \times 1))$$

$$= 3,2 \text{ J/kg}$$

Jadi total friksi :

$$\Sigma F_s = h_c + F_f + h_f + h_{ex}$$

$$= 9,1 \text{ J/kg}$$

Hukum Bernoulli :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

diketahui :

$$\begin{aligned} z_1 &= 24 \text{ ft} \\ z_2 &= 30 \text{ ft} \end{aligned} \quad \Delta z = 6 \text{ ft}$$

$$\text{Kecepatan gravitasi (g)} = 32 \text{ ft/s}^2$$

$$\text{massa jenis di tangki penyimpan} = 75 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{massa jenis masuk reaktor} = 75 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Tekanan suction (P} = \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = 1 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Tekanan discharge} = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 = 1 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Karena pada dua titik kecepatan fl} \frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) = 0$$

sehingga persamaan menjadi :

$$-W_s \left(g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \right)$$

$$= 193 + 0 + 9,12$$

$$= 202 \text{ BTU/lb}$$

$$= 470 \text{ J/kg}$$

Efisiensi = 80% (timmerhause)

$$W_p = W_s / \text{efisiensi}$$

$$= 587 \text{ J/kg}$$

$$\text{Pump kW} = \frac{W_p \times m}{1000} = \left(587 \times \text{kg} \right) / 1000$$

$$= 17 \text{ kw}$$

Efisiensi motor = 60% (geankoplis, pg. 148)

$$\text{Power Motor} = 29 \text{ kw} = 39 \text{ hp}$$

maka dipilih pompa dengan daya motor = 4.2 hp

Spesifikasi pompa

Type : Centrifugal pump

Bahan kon : Commercial steel

Kapasitas : 106654,9 kg/jam

Daya pom : 38,9 hp

Jumlah : 1 buah

18. SINGLE EFFECT EVAPORATOR

Fungsi : Memekatkan larutan NaOH menjadi 36%

Tipe : *Falling Film Evaporator*

Dasar Pemilihan : *heat sensitive materials*
panas ekonomis

Dari Appendix

$$Q = 64689575 \text{ kkal/jam} = 256537505,6 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Suhu Masuk} = 77 \text{ }^{\circ}\text{C} = 171 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu Keluar} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C} = 102 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 68,4 \text{ F}$$

$$UD = 200 \text{ (Kern, Table 8)}$$

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta T}$$

$$A = 18752,74 \text{ ft}^2 = 1742,229 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas perpindahan Panas Maksimum} = 300 \text{ m}^2$$

$$\text{Ukuran Tube} = 4 \text{ in}$$

$$\text{Panjang Tube} = 12 \text{ ft}$$

Dipilih :

Pipa standar 4 in IPS Schedule Num. 40

$$OD = 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft}$$

$$ID = 4,026 \text{ in} = 0,335 \text{ ft}$$

$$a' = \frac{\pi \times ID^2}{4}$$

$$a' = \frac{3,14 \times ID^2}{4}$$

$$a' = 0,0880966 \text{ ft}^2$$

$$\text{Jumlah tube, Nt} = \frac{A'}{a'}$$

$$= \frac{a' \times L}{0,1 \times 12}$$

$$= \frac{18752,74}{17739} \text{ buah}$$

Menghitung dimensi silinder evaporator :

Akan direncanakan menggunakan material: Stainless Steel
dengan tutup atas dan bawah berbentuk *standart dish head*

Bahan yang digunakan : *Stainless Steel*

Type bahan : *SA-240 grade A type 410*

Maka didapatkan :

$$f = 15600 \quad (\text{Tabel 13.1 Brownell \& Young})$$

$$E = 0,8 \quad (\text{Tabel 13.2 Brownell \& Young})$$

$$C = 0 \quad (\text{Stainless steel dia asumsikan} = 0)$$

Dimensi Evaporator

$$A = Nt \times a'$$

$$= 1563 \text{ ft}^2 \quad \text{ft}^2$$

$$D_{\text{evap}} = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$= 44,62 \text{ ft} = 13,6 \text{ m}$$

Tinggi evaporator berdasarkan dimensi ratio

$$\text{Asumsi, } H/D = 2$$

$$H = 89 \text{ ft}$$

Diameter Centerwall : Asumsi 6-24 ft

$$\text{Asumsi, } D_{\text{cw}} = 1 \times D_{\text{evap}}$$

$$= 1 \times 44,618$$

$$= 45 \text{ ft}$$

Tebal Shell berdasarkan ASME Code untuk Cylindrical Tank

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0,6P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254}]$$

dengan : t_{\min} = tebal shell minimum; in

P = tekanan tangki ; psi
 r_i = jari-jari tangki ; in ($\frac{1}{2}$ D)
 C = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)
 E = faktor pengelasan, digunakan double welded, $E = 0,8$
 Bahan konstruksi shell : dianjurkan campuran alloy Carbon steel dengan Nickel
 (Vilbrandt , tabel 4 – 4)

Dari B & Y didapat bahan konstruksi = Carbon steel SA – 203 Grade C (2½ Ni)
 $f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$

$P_{\text{operasi}} = 1 \text{ atm} = 14,696 \text{ psi}$

Tekanan Total = 29 psi

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$P_{\text{desain}} = 1,1 \times 29,396$
 $= 32 \text{ psi}$

$R = \frac{1}{2} D$
 $= 995,4 \text{ ft} = 11944 \text{ in}$

$t_{\text{min}} = 25,91 \text{ in} \text{ (digunakan } t=26 \text{ in)}$

Tebal conical dishead (bawah)

$$\text{Tebal conical} = \frac{P.D}{2 \cos \alpha (fE - 0,6P)} + C$$

dengan :

$\alpha = \frac{1}{2} \text{ sudut conis} = \frac{1}{2} \times 60^\circ = 30^\circ$

Bahan konstruksi *shell* : dianjurkan bahan campuran

Alloy carbon steel dengan *Nickel*

Bahan konstruksi : SA-203 Grade C

$f_{\text{allowance}} = 18750 \text{ psi}$

$t_c = 780,5 \text{ in}$

$= 780 \text{ in}$

Spesifikasi Single Effect Evaporator

Diameter Centerwall = 45 ft

Diameter Evaporator = 45 ft

Tinggi Shell = 89 ft

Tebal Shell = 3/5 in

Tebal Tutup = 2 in

Tube Calandria

Ukuran = 4 in sch. standard 40 IPS

OD = 0,4 ft

ID = 0,34 ft

Panjang Tube = 12 ft

Jumlah Tube = 17739 buah

Bahan Konstruksi = Carbon Steel SA-203 Grade C (2^{1/2} Ni)

Jumlah Evaporato = 1 buah buah

19. FLASH EFFECT EVAPORATOR

Fungsi : Memekatkan larutan NaOH menjadi 36%

Tipe : *Falling Film Evaporator*

Dasar Pemilihan : *heat sensitive materials*
panas ekonomis

Dari Appendix

$$Q = 197386,79 \text{ kkal/jam} = 782770,87 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Suhu Masuk} = 77,3 \text{ }^{\circ}\text{C} = 171 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu Keluar} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C} = 102 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 68,4 \text{ F}$$

$$UD = 60 \text{ (Kern, Table 8)}$$

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta T}$$

$$A = 190,73 \text{ ft}^2 = 17,7198 \text{ m}^2$$

$$\text{Ukuran Tube} = 4 \text{ in}$$

$$\text{Panjang Tube} = 12 \text{ ft}$$

Dipilih :

Pipa standar 4 in IPS Schedule Num. 40

$$OD = 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft}$$

$$ID = 4,026 \text{ in} = 0,335 \text{ ft}$$

$$a' = \frac{\pi \times ID^2}{4}$$

$$a' = \frac{3,14 \times ID^2}{4}$$

$$a' = 0,0880966 \text{ ft}^2$$

$$\text{Jumlah tube, Nt} = \frac{A'}{a' \times L}$$

$$= \frac{190,73}{0,1 \times 12}$$

$$= 180 \text{ buah}$$

Menghitung dimensi silinder evaporator :

Akan direncanakan menggunakan material: Stainless Steel dengan tutup atas dan bawah berbentuk *standart dish head*

Bahan yang digunakan : *Stainless Steel*

Type bahan : *SA-240 grade A type 410*

Maka didapatkan :

$$f = 15600 \quad (\text{Tabel 13.1 Brownell \& Young})$$

$$E = 0,8 \quad (\text{Tabel 13.2 Brownell \& Young})$$

$$C = 0 \quad (\text{Stainless steel dia asumsikan } = 0)$$

Dimensi Evaporator

$$A = Nt \times a'$$

$$= 16 \text{ ft}^2$$

$$D_{\text{eva}} = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$= 4,4997372 \text{ ft} = 1,4 \text{ m}$$

Tinggi evaporator berdasarkan dimensi ratio

$$\text{Asumsi, } H/D = 2$$

$$H = 8,99947432 \text{ ft}$$

Diameter Centerwall : Asumsi 6-24 ft

$$\text{Asumsi, } D_{\text{cw}} = 1 \times D_{\text{evap}}$$

$$= 1 \times 4,500$$

$$= 4,5 \text{ ft}$$

Tebal Shell berdasarkan ASME Code untuk Cylindrical Tank

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0,6P} + C \quad [\text{Brownell, pers.13-1, hal.254}]$$

dengan : t_{\min} = tebal shell minimum; in
 P = tekanan tangki ; psi
 r_i = jari-jari tangki ; in (1/2 D)

r_i = jari-jari tangki ; in ($\frac{1}{2}$ D)

C = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan, digunakan double welded, E = 0,8

Bahan konstruksi shell : dianjurkan campuran alloy Carbon steel dengan Nickel
(Vilbrandt , tabel 4 - 4)

Dari B & Y didapat bahan konstruksi = Carbon steel SA - 203 Grade C (2½ Ni)
 $f_{allowance} = 18750$ psi

$P_{operasi} = 1 \text{ atm} = 14,696 \text{ psi}$

Tekanan Total = 29,4 psi

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$P_{desain} = 1,1 \times 29,4$
 $= 32 \text{ psi}$

$R = 1/2 D$

$= 10,12 \text{ ft} = 121,5 \text{ in}$

$t_{min} = 0,387 \text{ in}$ (digunakan $t=1/2$)

Tebal conical dishead (bawah)

$$\text{Tebal conical} = \frac{P.D}{2 \cos \alpha (fE - 0,6P)} + C$$

dengan :

$\alpha = 1/2 \text{ sudut conis} = 1/2 \times 60^\circ = 30^\circ$

Bahan konstruksi *shell* : dianjurkan bahan campuran

Alloy carbon steel dengan *Nickel*

Bahan konstruksi : SA-203 Grade C

$f_{allowance} = 18750$ psi

$t_c = 0,925 \text{ in}$

$= 1 \text{ in}$

Diameter Center = 4,5 ft

Diameter Evapo = 4,5 ft

Tinggi Shell = 9 ft

Tebal Shell = 1/2 in

Tebal Tutup = 1 in

Tube Calandria

Ukuran = 4 in sch. standard 40 IPS

OD = 0,38 ft

ID = 0,34 ft

Panjang Tube = 12 ft

Jumlah Tube = 180 buah

Bahan Konstruksi = Carbon Steel SA-203 Grade C ($2^{1/2}$ Ni)

Jumlah Evaporator = 1 buah

CW

Cooling Water
(kg/jam)

CTWR

Cooling Water
Return (kg/jam)

NG

Natural Gas
(kg/jam)

Tekanan (atm)

A

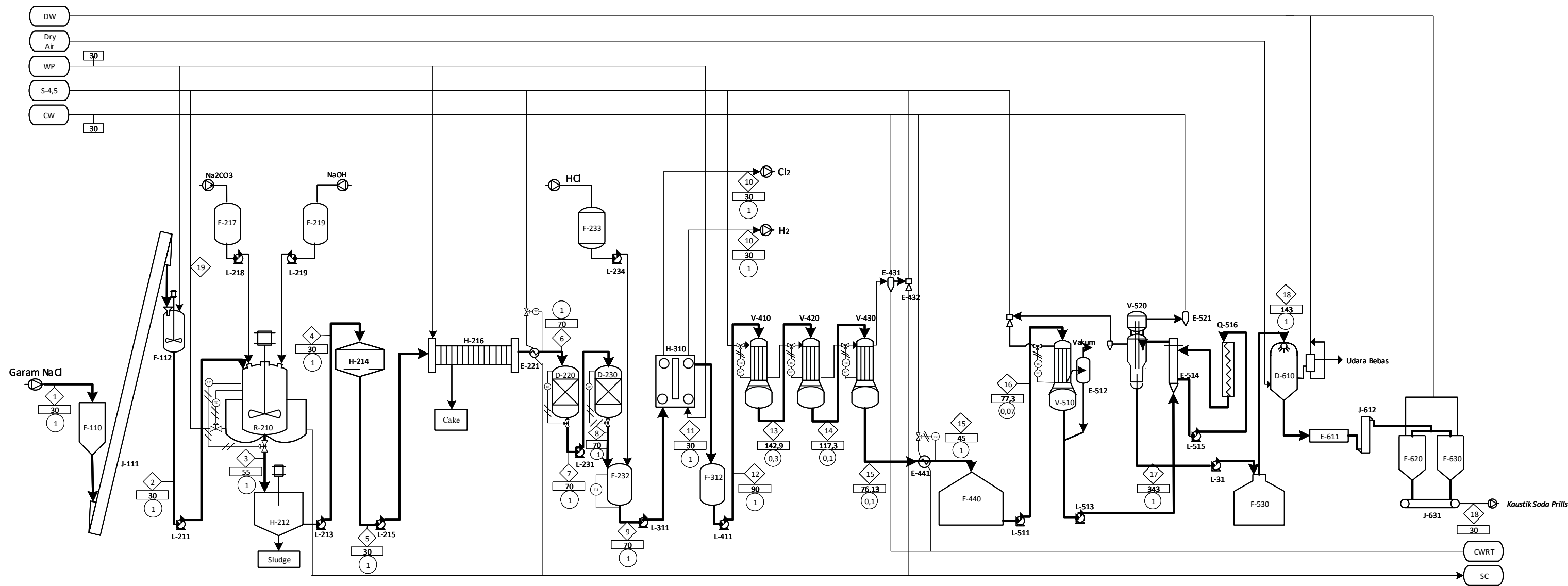
Air (kg/jam)

Temperatur (°C)

WP

Water Proses
(kg/jam)

Aliran Massa
(kg/jam)



Steam No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T (°C)	30	30	55	30	30	30	70	70	70	90	30	90	142,9412	117,2494	76,1318	77,27	343	143
P (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,3	0,1	0,07	1	1
Komponen	TABEL NERACA MASSA PABRIK NAOH DARI NaCl DENGAN PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN (DALAM KG/H)																	
Garam (NaCl)	19285,6618	19285,6618	19285,6618	19285,6618	19285,6618	18899,9486	18899,9486	18910,1159	18913,7546	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaustik Soda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4578,3360	4578,3360	4578,3360	4578,3360	4578,3360	4578,3360	4578,3360
Klorin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrogen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Air	58,0794	54889,9605	54903,5175	54903,5175	54903,5175	53804,8314	53804,8314	53804,8314	53804,8314	2298,2762	2023,9920	9728,9640	8012,0880	6295,2120	4578,3360	2927,13290	93,4354	93,4354
Asam Klorida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuritis	-	-	3,1057	2,4846	0,8282	0,0828	0,1146	0,0828	0,0828	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reagen Berlebih	-	-	1,0783	1,0783	1,0783	1,0783	1,0783	1,0783	1,0783	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	1,7843	1,7843	1,5336	1,5336	1,5336	1,5336	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₄	10,7059	10,7059	8,7072	8,7072	8,7072	8,7072	8,7072	0,3653	0,3653	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	3,5686	3,5686	3,1520	3,1520	3,1520	3,1520	0,0008	0,0008	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	19359,8000	74191,6811	74206,7561	74206,135	74204,4786	72719,3339	72714,6809	72724,8164	70720,1132	2298,2762	2023,9920	14307,3000	12590,4240	10873,5480	9156,6720	7505,46890	4671,7714	4671,7714

